

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертація**

на тему: «Переробка рослинної сировини в УЗ установці».

Київ – 2018

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біотехніки та інженерії

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.М. Мельник

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

на тему: «Переробка рослинної сировини в УЗ установці»

Виконав:

студент VI курсу, групи БІ-71мп

Сорокін Едуард Геннадійович

Керівник:

д.т.н., проф. Мельник В.М.

Консультант з розробки стартап-проекту:

к.е.н., доцент Ткаченко Т.П.

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет(інститут) _____ біотехнології і біотехніки
(код, назва)

Кафедра _____ біотехніки та інженерії
(код, назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність _____ 133 Галузеве машинобудування
(код, назва)

Спеціалізація _____ «Обладнання фармацевтичних та
(назва)
біотехнологічних виробництв»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ В.М. Мельник
(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Сорокіну Едуарду Геннадійовичу**
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема дисертації: «Переробка рослинної сировини в УЗ установці»
науковий керівник дисертації Мельник Вікторія Миколаївна, д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. №__

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: Кристалізатор з генератором ультразвукових коливань.

4. Предмет дослідження: Масообмінні процеси кристалізації в умовах дії ультразвукових коливань.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести літературний аналіз за темою дисертації, дослідження стану проблеми; провести експериментальні дослідження процесу кристалізації, та впливу ультразвукових коливань на процес, у лабораторних умовах; провести аналіз результатів досліджень; запропонувати конструкцію ультразвукової кристалізації; запропонувати розрахункову модель кристалізатора та практичну реалізацію розробленої конструкції ультразвукової кристалізації.

6. Орієнтовний перелік графічного матеріалу: Апаратурно-технологічна схема (A1); Кристалізатор. Складальне креслення (A1); креслення складальних одиниць (Корпус (A2), Опора (A2), Кришка (A2), Штуцер (A3), Фланець (A3)). Плакати за темою магістерської дисертації (3D модель апарату, статичний аналіз на міцність та стійкість).

7. Орієнтовний перелік публікацій: Використання ультразвуку для інтенсифікації процесу кристалізації; Безперервна стерилізація рідких середовищ в біотехнології та фармації; Аналіз впливу ультразвукових коливань на інтенсифікацію процесу кристалізації, на прикладі лимонної кислоти.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап - проекту	Ткаченко Т. П., доцент		

9. Дата видачі завдання _____
Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літературних джерел:	01.09.17-01.12.17	
2	Формування мети та задач досліджень за вибраною тематикою	01.12.17-30.12.17	
3	Вивчення методики та проведення дослідження.	06.03.18-25.03.18	
4	Підготовка тез та доповідей. Виступ на конференції «Біотехнологія XXI століття»	25.03.18-01.04.18	
5	Комп'ютерне моделювання кристалізатора	01.04.18-25.06.18	
6	Опрацювання отриманих результатів	25.08.18-10.10.18	
7	Підготовка матеріалів для публікації статті	11.10.18-19.10.18	
8	Підготовка креслень апарата	20.10.18-04.11.18	
9	Розробка стартап-проекту	05.11.18-07.12.18	
10	Робота над пояснювальною запискою	19.11.18-07.12.18	

Студент

_____ (підпис)

Е. Г. Сорокін

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

В. М. Мельник

РЕФЕРАТ

УДК 664.1.054

Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» на тему: «Переробка рослинної сировини в УЗ установці» / НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; Керівник д.т.н., проф. Мельник Вікторія Миколаївна; Виконавець Сорокін Едуард Геннадійович, студент групи БІ-71мп.

Проект включає:

– пояснювальну записку, яка містить: перелік скорочень, умовних позначень, вступ, 5 розділів, висновки, перелік посилань та додатки. Повний обсяг пояснювальної записки становить 97 сторінок, 13 рисунків, 14 таблиць і перелік посилань з 42 найменувань.

– графічну частину: апаратурно-технологічна схема лінії виробництва лимонної кислоти (А1); ємнісний кристалізатор (складальне креслення – А1); креслення складальних одиниць; креслення фланець (А3)).

Завдання проекту полягає у вивченні впливу використання ультразвукової дії для інтенсифікації процесу кристалізації.

В першому розділі наведено сфери використання, фізичні та хімічні властивості лимонної кислоти, основні поняття в області ультразвуку.

В другому розділі представлено експериментальне дослідження, що включає в себе опис експериментальної установки, методика проведення експерименту, методика обробки та аналіз результатів експериментів та висновки по результатам дослідження впливу ультразвукової дії на процес кристалізації лимонної кислоти. В третьому розділі описано обґрунтування вибору конструкції апаратів, опис конструкції, вибір матеріалів

В четвертому розділі наведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції кристалізатора.

В п'ятому розділі наведений розрахунок Старту.

Ключові слова: КРИСТАЛІЗАЦІЯ, УЛЬТРАЗВУК, ЛИМОННА КИСЛОТА, КАВІТАЦІЯ, ОБЛАДНАННЯ.

ABSTRACT

UDC 664.1.054

Degree project of educational qualification level "Master" on the topic: "Processing of plant raw materials in the installation of UZ" / National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; Head of the D.Sc., prof. Melnik Viktoriya Nikolaevna; Performer Sorokin Eduard G., student group BI-71mp.

The project includes:

- an explanatory note, which contains: list of abbreviations, symbols, introduction, 5 sections, conclusions, list of references and annexes. The full volume of the explanatory note is 97 pages, 13 figures, 14 tables and a list of references from 42 titles.

- graphic part: hardware and technological scheme of the production line of citric acid (A1); capacitive crystallizer (assembling drawing - A1); drawings of assembly units; drawing flange (A3)).

The objective of the project is to study the influence of the use of ultrasound to intensify the crystallization process.

In the first section, the fields of use, physical and chemical properties of citric acid, the basic concepts in the field of ultrasound.

The second section presents an experimental study, which includes a description of the experimental setup, the method of conducting the experiment, the technique of processing and the analysis of the results of experiments and the conclusions of the study of the influence of ultrasound on the process of crystallization of citric acid. The third section describes the justification for selecting the design of the apparatus, the description of the design, the choice of materials

The fourth section provides calculations that prove the efficiency and reliability of the design of the crystallizer.

In the fifth section the Startup calculation.

Keywords: CRYSTALLIZATION, ULTRASOUND, CITRIC ACID, CALCULATION, EQUIPMENT.

Зміст

Перелік умовних позначень, скорочень	10
ВСТУП.....	13
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	15
1.1. Основні поняття в області ультразвуку	15
1.2. Поняття кавітації	17
1.3. Види кавітації.....	20
1.4. Призначення та область застосування лимонної кислоти	20
1.5. Характеристика лимонної кислоти.....	21
1.6. Призначення та галузь застосування установки для виділення кристалізації та сушки лимонної кислоти	22
1.7. Опис технологічного процесу виробництва кристалічної лимонної кислоти	23
Апаратурно-технологічна схема наведена в додатку А.....	23
1.8. Висновки:	27
1.9. Основною задачею проведення дослідження є :	28
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	29
2.1. Опис експериментальної установки	29
2.2. Методика проведення експерименту.....	30
2.3. Методика обробки та аналіз результатів експериментів.....	31
2.4. Висновки.....	34
3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	35
3.1. Аналіз систем реалізації моделювання та вибір програмного забезпечення	35
3.2. Побудова геометрії моделі та встановлення умов однозначності	36
1.1. Результати 3D моделювання	37
1.2. Висновки:	38
4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	39
4.1. Опис конструкції кристалізатора.....	39

4.2. Вибір матеріалів кристалізатора	40
4.3. Технічна характеристика кристалізатора.....	41
Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції кристалізатора:.....	42
4.4. Матеріальний баланс.....	42
4.5. Тепловий баланс	43
4.6. Розрахунок мішалки	47
4.7. Розрахунок штуцерів.....	49
4.8. Розрахунок фланцевого з'єднання обичайки кристалізатора.....	51
4.9. Розрахунок сорочки, навантаженої зовнішнім тиском.....	57
4.10. Розрахунок обичайки, навантаженої внутрішнім тиском.	59
4.11. Розрахунок днища сорочки, навантаженого внутрішнім тиском	61
4.12. Розрахунок днища обичайки, навантаженого зовнішнім тиском	62
4.13. Перевірка несучої спроможності апарату на дію опорних навантажень	63
4.14. Розрахунок вала перемішуючого пристрою на вібростійкість...	65
4.15. Висновки:	67
5. Стартап	68
5.1. Резюме	68
5.2. Загальна характеристика розробки.....	70
5.3. Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства .	73
5.4. Аналіз потенційного ринку збуту і конкурентного середовища за методом квадрату Бове	76
5.5. Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда.....	78
5.6. Анкета споживачів для визначення їх бачення запропонованої інновації.....	80
5.7. Оцінка ринкових позицій інноваційної розробки	82
5.7.1 Технічне завдання	84
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ на виконання робіт	84

5.8. Джерела фінансування НДР	86
5.9. Розрахунок ціни інноваційної розробки	86
5.10. Техніко-економічні показники.....	87
5.11. Оцінка ризиків та страхування розробки.....	90
ВИСНОВКИ.....	93
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:	94
Додаток А	
Додаток Б	
Додаток В	

Перелік умовних позначень, скорочень

ЖС – живильне середовище;
ПМ – посівний матеріал;
ПС – поживне середовище;
КР – культуральна рідина;
П-1 – повітрозбірник;
Ф-2 – фільтр вісциновий;
К-3 – турбокомпресор;
Т-4 – теплообмінник кожухотрубний;
Р-5 – ресивер;
Ф-6 – фільтр головний;
Ф-7 – фільтр головної очистки;
І-8, І-10 – інокулятор;
Р-11, Р-13 – реактор змішувач;
Н-12, Н-19 – відцентровий електронасос;
Н-14 – насос плунжерний;
Ф-15, Ф-17 – ферментер;
К-16, К-20 – колона нагрівання;
Є-18, Є-23, Є-25, Є-26 – буферна ємність;
В-21 – витримувач;
Т-22 – теплообмінник пластинчатий;
Ф-24 – фільтр-прес автоматичний;
Ш-27 – шнек;
С-28 – сушарка двовальцюва;
 G – масова витрата, кг/с ;
 t – температура, $^{\circ}\text{C}$;
 c – теплоємність, $\text{Дж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$;
 ρ – густина, кг/м^3 ;

λ – коефіцієнт теплопровідності, $Вт/м \cdot ^\circ C$;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, $Па \cdot c$;

ν – коефіцієнт кінетичної в'язкості, $м^2/c$;

V – об'ємна витрата, $м^3/c$;

W – швидкість руху рідини, $м/с$;

F – площа поверхні теплообміну, $м^2$;

f – площа поперечного перерізу каналу, $м^2$;

Q – кількість теплоти, $Вт$;

$\Delta t_m, \Delta t_6$ – різниці температур між найменшими і найбільшими значеннями, $^\circ C$;

K – коефіцієнт теплопередачі, $Вт/м^2 \cdot K$;

α – коефіцієнт тепловіддачі, $Вт/м^2 \cdot K$;

δ – товщина пластини, $м$;

R – термічний опір забруднень, $Вт/м^2 \cdot K$;

$d_{екв}$ – еквівалентний діаметр каналу, $м$;

D_y – умовний діаметр штуцера;

Re – критерій Рейнольдса;

Nu – критерій Нусельта;

Pr – критерій Прандтля;

ΔP – гідравлічний опір, $Па$;

L – довжина каналу, $м$;

ξ – коефіцієнт загального гідравлічного опору;

m – число каналів в пакеті, шт.;

n – число пластин, шт.;

X – число ходів, шт.;

φ – коефіцієнт міцності зварних швів;

D_n – зовнішній діаметр фланця, $м$;

D_{ϕ} – діаметр болтової окружності, $м$;

d_{ϕ} – діаметр болта, $м$;

l_{ϕ} – довжина болта, $м$;

u_1 – нормативний зазор, $м$;

κ_{np} – прокладочний коефіцієнт;

a – конструктивний додаток до розміру болтів, $м$;

h_n – товщина прокладки, $м$;

b – ширина прокладки, $м$;

κ_n – коефіцієнт обтискання прокладки;

E – модуль пружності, $МПа$;

f_{ϕ} – площа поперечного перерізу болта, $м^2$;

ν, ψ_1, ψ_2 – конструктивні коефіцієнти;

α_{ϕ} – коефіцієнт об'ємного розширення фланця, $^{\circ}C^{-1}$;

α_{ϕ} – коефіцієнт об'ємного розширення болтів, $^{\circ}C^{-1}$;

α_c – коефіцієнт об'ємного розширення вільного кільця, $^{\circ}C^{-1}$;

q – зусилля герметизації, $МПа$;

$[\sigma]$ – граничне напруження, $МПа$;

$[P]$ – допустимий тиск, $МПа$;

y_{ϕ} – піддатливість фланця, $1/(м \cdot МН)$;

y_{ϕ} – піддатливість болтів, $м/МН$;

y_c – піддатливість вільного кільця, $1/(м \cdot МН)$;

$[\theta]$ – граничний кут повороту, $рад$;

$S_{RS}^A, S_{RS}^B, S_{RS}^B, S_{RS}^{\Gamma}$ – товщини стінок патрубків, для відповідних штуцерів А, Б, В, Г, $мм$;

l_R – розрахункова довжина патрубків, $м$;

ВСТУП

Протягом останніх десятиліть у нашій країні та за її межами стрімко набули розвитку такі напрямки промислової біотехнології як виробництво антибіотиків, вітамінів, амінокислот, ферментів, органічних кислот та інших цільових продуктів. Особлива увага у виробництві органічних кислот приділяється харчовим кислотам – лимонній, молочній, яблучній, оцтовій та іншим.

Із органічних кислот, отриманих мікробіологічним способом, лимонна кислота завдяки своїм смаковим якостям і фізико-хімічним властивостям найбільше застосовується у ряді галузей.

До початку двадцятих років минулого століття лимонну кислоту отримували з соку лимонів, таким чином задовольнялося близько трьох чвертей світової потреби в ній (вихід лимонної кислоти з однієї тонни лимонів становить 25 кг). Можливість отримання лимонної кислоти шляхом культивування мікроскопічних грибів на цукрових поживних середовищах була відкрита німецьким вченим К. Вемером у 1893 році.

Харчова промисловість традиційно є основним споживачем виробленої таким чином кислоти, оскільки продукти природного бродіння мають переваги порівняно з хімічно синтезованими та не містять токсичних, для організму людини, домішок. Лимонна кислота є широкоживаною нешкідливою харчовою добавкою (E330), крім того, її застосовують у медицині, кондитерській промисловості, косметичній галузі тощо. Одним з головних завдань у виробництві лимонної кислоти є досягнення її високого виходу.

Попит на лимонну кислоту безперервно зростає, але в колишніх соціалістичних країнах він задовольняється вкрай слабо, тому в даний час організовуються нові виробничі потужності з випуску цього цінного продукту.

Обґрунтування теми дисертації (Актуальність): Отримання чистих лікарських речовин пов'язано з методами багаторазової кристалізації і перекристалізації у розчинах. Ультразвук в залежності від режиму ультразвукової обробки, ступеня перенасичення розчину, температурного чинника і т.д. може

значно прискорити процес кристалізації неорганічних з'єднань. Прискорення кристалізації здійснюється за рахунок розчинення дрібних кристалів. пришвидшує процес утворення центрів кристалізації з 5-8 год до декількох секунд.

Прискорення процесів кристалізації визначається на стадії кавітації, коли диспергуруючий ефект найбільший. Ультразвукова обробка в процесі кристалізації дозволяє отримати однорідний, безпористий матеріал з дрібнозернистою структурою. Використовуються в харчовій та фармацевтичній промисловості для: дезінтеграції клітин вилучення (добування внутрішньоклітинних компонентів або отримати безклітинний бактеріальний фермент); Активація (прискорення) реакції ферменту в рідких харчових продуктах, прискорення бродіння, змішування, гомогенізація, дисперсія сухого порошку в рідині, емульгування масла / жиру в потоці рідини, розпорошення, у виробництві напоїв, дезактивація ферментів, мікробна інактивація (збереження), кристалізація, стимуляція живих клітин.

Мета: Дослідження впливу ультразвукових коливань на процес кристалізації лимонної кислоти.

Об'єкт досліджень: Кристалізатор з генератором ультразвукових коливань.

Предмет досліджень: Масообмінні процеси кристалізації в умовах дії ультразвукових коливань.

Результати проведення даного експерименту можуть бути застосовані для пришвидшення, та покращення контролю якості виробництва лимонної кислоти, а саме процесу кристалізації.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Основні поняття в області ультразвуку

Ультразвуковими прийнято називати акустичні коливання з частотою вище 15-20 кГц [17]. Поширення ультразвукових або акустичних хвиль будь-якого частотного діапазону пов'язано зі зміною стану середовища (обуренням) і перенесенням енергії, причому при цьому практично не переноситься речовина. Обладнання. Ультразвукові очисні ванни і зонди складаються з двох головних частин: електричного генератора і ультразвукового перетворювача. Генератор подає на перетворювач імпульси високої напруги з необхідною частотою. Перетворювач є найбільш важливою деталлю системи. Переважна більшість сучасного ультразвукового обладнання використовує п'єзоелектричні перетворювачі. Слово «перетворювач» позначає пристрій, який перетворює один вид енергії в інший. П'єзоелектричні перетворювачі в очисних ваннах і зондах перетворюють електричну енергію в акустичну.

Частота. Більшість промислово устаткування, що випускається працює на частоті 20 або 35 кГц. Ці пристрої не дозволяють плавно змінювати частоту (на відміну від фотохімічного обладнання) через те, що п'єзоелектричні перетворювачі можуть працювати тільки на одній фіксованій частоті. Інтенсивність. Максимальну інтенсивність ультразвуку, який діє на реакційну систему, зазвичай визначають, як питому потужність на поверхні, що випромінює ультразвукового перетворювача. Питома потужність - електрична потужність перетворювача, поділена на площу її поверхні (площа наконечника ультразвукового зонда).

Амплітуда. Амплітуда — максимальна різниця в положенні випромінюючої поверхні перетворювача. При частоті 20 - 22 кГц вона становить близько 1 - 20 мкм.

Теорія. Дія акустичного поля на рідину породжує рухомі кризь середу звукові хвилі, які в свою чергу створюють в середовищі деякий звуковий тиск (P_a). Воно буде діяти на систему на додаток до постійно присутнього

гидростатическому (барометричному) тиску (P_h). Для більшості проведених в хімічній лабораторії процесів цим невеликим за величиною гідростатичним тиском можна знехтувати.

Звуковий тиск є функцією часу і описується рівнянням (1):

$$Pa = PA \sin 2\pi ft \quad (1),$$

де f - частота коливань (> 16 кГц для ультразвуку) і PA - максимальна амплітуда тиску хвилі.

Можна вважати, що інтенсивність хвилі (I), тобто енергія, що проходить в секунду через квадратний сантиметр середовища, описується рівнянням (2):

$$I = \frac{PA^2}{2\rho c} \quad (2),$$

де ρ - щільність середовища, кг / см³; c - швидкість звуку в середовищі, м / с.

Поширення звукової хвилі крізь середу викликає коливання молекул щодо їх положення спокою і, таким чином, короткочасно збільшує значення їх поступальної енергії. В принципі при пружних зіткненнях ця енергія цілком може бути передана іншим молекулам, що в свою чергу збільшить їх поступальну енергію. Насправді ж частина енергії втрачається за рахунок:

- а) впливу в'язкості (тертя однієї молекули рідини про іншу)
- б) теплового ефекту (перенесення тепла з області високої в область низької поступальної енергії). Тому хвильова енергія буде слабшати при проходженні крізь середовище.

Енергія будь-яких акустичних коливань буде зменшуватися з відстанню. Ступінь такого ослаблення описується рівнянням (3):

$$I = I_0 \exp (-2al) \quad (3),$$

де a - коефіцієнт поглинання (загасання), I_0 - початкова інтенсивність звукової хвилі (енергія, що проходить через одиничну площу за одиницю часу), I - інтенсивність на відстані l від джерела.

Коефіцієнт поглинання буде залежати не тільки від природи і температури середовища, але і від частоти звуку: чим вище частота, тим менше пропускання. На перший погляд така залежність від частоти є дещо несподіваною, но це

результат того, що повна енергія системи складається з багатьох складових (поступальної, обертальної, коливальної та конформаційної енергій молекул). Частина з них зростає зі збільшенням частоти коливань, що і призводить до спостерігається залежності.

Повний негативний тиск ($P_c = P_a - P_h$), що виникає в циклі розрідження звукової хвилі, збільшує відстань між молекулами. Воно може перевищити певну критичну величину, необхідну для підтримки рідини в конденсованому стані. При цьому будуть відбуватися розриви середовища, в якій будуть виникати порожнечі (кавитаційні бульбашки) [18].

Основні фізико-хімічні та хімічні ефекти, які виникають в рідині під дією акустичних полів, обумовлені головним чином нелінійними ефектами, з яких найбільш важливим є кавітація.

1.2. Поняття кавітації

При поширенні акустичних хвиль різного частотного діапазону відбувається обурення середовища і перенесення енергії практично без перенесення речовини. Кавітація є одним з найбільш важливих нелінійних ефектів, які зумовлюють основний фізико-хімічний і хімічний фактор впливу акустичних хвиль на рідину. Одна з характерних особливостей кавітації полягає в тому, що вона є досить своєрідним і ефективним механізмом локального концентрування щодо невисокою середньої енергії акустичного поля в дуже малому обсязі, що призводить до створення виключно високої щільності енергії [19].

Кавітація — це розрив рідини при створенні в ній негативних тисків з утворенням порожнин, в які після розриву проникають пари рідини і розчинені в ній гази. Якщо в рідині створюються акустичні коливання, то ці порожнини починають пульсувати синфазно з полем і стають кавітаційними бульбашками, які беруть участь в здійсненні фізико-хімічних процесів.

У момент схлопування таких бульбашок, тиск і температура газу досягають значних величин (за деякими даними до 100 МПа і 1000 °С). Після схлопування порожнини в навколишньому рідині поширюється сферична ударна хвиля, швидко загасаюча в просторі.

На відміну від газу рідина, так само, як і тверде тіло, можна розтягувати, і при певній напрузі рідина повинна розриватися, утворюючи порожнини, в які досить швидко проникають пари рідини і розчинені в ній гази. Міцність рідин до розтягуючих напружень повинна бути досить велика. Наприклад, для освіти в воді порожнини з радіусом близько кінетичного радіусу молекули води ($\approx 10^{-8}$ см) теоретично необхідно створити негативний тиск порядку $2\sigma / r \approx 1,5 \cdot 10^9$ Па. За теорією Зельдовича спонтанне утворення теплових флуктуацій в однорідній рідині призводить до розриву рідкої фази в «слабких» точках, і при цьому міцність на розрив зменшується не менш, ніж на порядок в порівнянні з граничною міцністю. Однак численні експерименти показали, що міцність реальних рідин на розрив не на один, а на 3-4 порядки нижче теоретичного значення: в певних умовах акустична кавітація виникала вже при амплітудах звукового тиску до 10 кПа, і лише для спеціально підготовлених зразків води досягнута кавітаційна міцність 27,5 МПа [20].

Подібно до того, як міцність твердих тіл на розрив значно знижується внаслідок присутності в них мікронеоднорідності, порушень кристалічної решітки, дислокацій і т.д., відносно малу міцність реальних рідин до розтягуючих навантажень також пов'язують з присутністю в них різних неоднорідностей, що порушують суцільність середовища, головним чином, мікроскопічних бульбашок, які є зародками кавітації. Інший тип кавітаційних зародків — мікроскопічні тверді частинки, у великій кількості присутні в рідині і містять адсорбовані гази.

Для виникнення кавітації зазвичай буває достатньо присутності хоча б одного мікрозародку в досліджуваному обсязі. Кавітаційна міцність рідин залежить від способу приготування зразка, природи розчинених речовин,

концентрації розчиненого газу, об'єму рідини і т. Д. Піддаючи досліджувану рідину високим статичним тискам, можна отримати більш однорідні зразки внаслідок розчинення частини присутніх в них мікропухирців.

При виникненні кавітації практично не здійснюється розрив рідини. Найчастіше відбувається зростання вже наявних в рідині бульбашкових зародків і різко зростає поверхня розділу між рідиною і кавітаційними бульбашками. Вже при невеликих інтенсивностях в рідині утворюються численні пульсуючі бульбашки, рух яких зумовлює більшість фізико-хімічних і хімічних ефектів. Ці бульбашки, не утворилися при розриві рідини, проте зазвичай називаються кавітаційними.

Таким чином, початкове визначення кавітації практично не відображає фізичну сутність явища, що спостерігається в більшості експериментів. Для подолання цього утруднення Флін Г. [17] запропонував називати кавітацією сукупність явищ, що характеризуються рухом бульбашок в звуковому полі, що викликає такі ефекти, як хімічні реакції, ерозія, сонолюмінісценція і випромінювання звуку. Хоча це визначення ґрунтується на вивченні ряду ефектів, які здійснюються незалежні друг від друга і виникають при різних умовах, в різні моменти часу і т.д., воно більше відображає реальні процеси, ніж міркування про розрив однорідної рідини.

На відміну від руху звичайних бульбашок, які можуть або спонтанно утворюватися (кипіння, протікання хімічної реакції з виділенням газу), або штучно барботером в рідину, для кавітаційних бульбашок повинна існувати фаза, і коли тиск всередині них стає вище, ніж тиск в рідині, вони розширюються. Якщо в рідині створюються акустичні коливання, то і згадані вище звичайні рівноважні пухирці з розміром порядку резонансного можуть пульсувати синфазно з полем і ставати кавітаційними бульбашками, які беруть участь в здійсненні фізико-хімічних і хімічних процесів.

1.3. Види кавітації

Зниження тиску, що приводить до виникнення кавітації, може здійснюватися різними способами: створенням потоку рідини при обтіканні перешкоди або високій швидкості твердих тіл відносно рідини, розтягуванням рідини поршнем, швидким відривом поршня від рідини, передачею в рідину ударних навантажень, охолодженням рідини в повністю заповненому замкнутому посудині і т. д. Поширення в рідині акустичних хвиль також може призводити до виникнення кавітації внаслідок створення в рідині негативних тисків. Відповідно в рідині виникає гідродинамічна або акустична кавітація. При гідродинамічній кавітації парогазові бульбашки, які іноді називають порожнинами або кавернами, можуть досягати великих розмірів (декількох сантиметрів) [21]. На відміну від гідродинамічної кавітації при поширенні ультразвукових хвиль тиск змінює знак з подвоєною частотою поля, і тому кавітаційні бульбашки дуже малі (10^{-5} - 10^{-1} см, що відповідає резонансним розмірами бульбашок)

1.4. Призначення та область застосування лимонної кислоти

Лимонну кислоту застосовують у багатьох галузях промисловості. Найбільш широке застосування вона знайшла у харчовій промисловості в якості харчової добавки E330.

Лимонну кислоту використовують при виробництві лимонадів, фруктових соків, есенцій, лікерів, різноманітних драже, морозива, тортів, кремів та інших виробів.

Також її можна використовувати для продовження терміну зберігання м'яса, жирів, маргаринів, масла. При консервуванні лимонна кислота сприяє збереженню кольору фруктів та овочів, а також вмісту вітамінів і корисних речовин, підвищенню смакових якостей кінцевої продукції.

У косметичній промисловості лимонну кислоту використовують при виробництві кремів по догляду за шкірою для продовження терміну їх

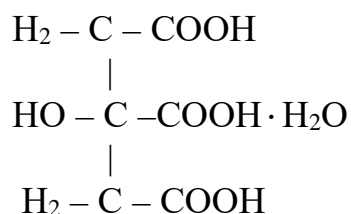
використання. У фармацевтичній – при консервуванні крові, виготовленні препаратів для лікування нирок.

У комунальному господарстві лимонну кислоту використовують для усунення накипу із котлів та систем гарячого водопостачання, в металургійній промисловості – в якості хімічного полірувального засобу для міді, алюмінію та інших кольорових металів, як одну зі складових гальванічних ванн при легуванні металів, наприклад, міді [1,2].

1.5. Характеристика лимонної кислоти

Лимонна кислота - це органічна кислота, розчинна у воді, спирті і ефірі. У воді лимонна кислота дисоціює, її аніон називають цитратом. Лимонна кислота є трьохосновною оксикислотою, яка кристалізується з водних розчинів з однією молекулою води у вигляді безбарвних прозорих ромбічних призм. В організмі людини при обміні речовин лимонна кислота утворюється під час розщеплення жирів і вуглеводів. Це білий без запаху кристалічний порошок з приємним м'яким кислим смаком [1].

Вона належить до оксікислот та має наступну структурну формулу:



Лимонна кислота при температурі нижче 36,6 °C утворює кристали з однією молекулою води у формі великих безбарвних ромбічних призм, при температурі вище 36,6 °C – утворює безводні кристали у формі моноклінних призм.

Гідратована лимонна кислота $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ містить 8,58 % води. На сухому повітрі вода, що входить в кристали вивітрюється, внаслідок чого кристали стають непрозорими і розсипаються. При повільному нагріванні до 50-55 °C кристали розм'якшуються, при швидкому нагріванні до 80 °C – плавляться, при 130 °C – стають повністю безводними.

Кристали лимонної кислоти добре розчиняються у воді, при цьому її розчинність підвищується з підвищенням температури, а також в чистому і розбавленому спирті, в ацетоні, ефірі і інших органічних розчинниках.

Лимонна кислота розкладається внаслідок термічних навантажень. Вона може виявляти хімічні властивості як кислот, так і спиртів. Карбоксильна і гідроксильна групи вступають в реакцію незалежно одна від одної. Це зумовлює утворення взаємного впливу між функціональними групами лимонної кислоти, як наслідок – виникнення особливих властивостей останньої [2].

Кислота, яка розглядається, належить до слабких електролітів, що пов'язано з оборотністю процесу дисоціації, причому з підвищенням температури ступінь дисоціації зростає [3].

Лимонна кислота може утворювати солі та складні ефіри, а також вступати в ряд інших хімічних реакцій, властивих оксикислотам.

1.6. Призначення та галузь застосування установки для виділення кристалізації та сушки лимонної кислоти

У дипломному проекті розглядається апаратурно-технологічна схема виробництва лимонної кислоти.

Представлена технологія використовується на багатьох заводах з виробництва лимонної кислоти [2].

Це виробництво набуло масовості ще за часів Радянського Союзу як в Україні, так і в Росії та інших республіках колишнього СРСР. На сьогоднішній день Україна є крупним постачальником лимонної кислоти. В Україні лимонну кислоту виробляють 2 підприємства: ВАТ "Смілянський сахарокмбінат" (Черкаська обл.) і Харківський завод харчових кислот. У Російській Федерації найбільший завод знаходиться в Санкт-Петербурзі, а також деяких інших містах країни. Заводи з великим обсягом виробництва існують у Китаї, США, Франції, Японії, Англії, Канаді та інших країнах Європи, Азії, Африки та Америки.

Представлена установка використовується для виділення лимонної кислоти, отриманої глибинним способом. Вона є типовою для більшості заводів,

з деякими відмінностями в апаратурному оформленні. При поверхневому культивуванні використання даної схеми є неможливим [2].

1.7. Опис технологічного процесу виробництва кристалічної лимонної кислоти

Апаратурно-технологічна схема наведена в додатку А.

Культуральна рідина, що поступає до хімічного цеху на переробку, містить 16-27г/100 мл сухих речовин, з яких 5-12г складають органічні кислоти. Лимонна кислота в їх суміші становить 80-85%. При глибинному способі ферментації з побічних кислот присутні щавлева і глюконова та деякі проміжні. Окрім органічних кислот до складу культуральної рідини входять не використані речовини поживного середовища, з яких 0,2-0,5% припадає на мелясний цукор [2].

Розглянемо принцип її дії.

На очищення культуральну рідину подають уже відділену від міцелію. Нейтралізують її у реакторі-нейтралізаторі Р1, вапняним молочком, в результаті утворюється цитрат кальцію. Реактори виготовляють із кислототривкої сталі. Їх об'єм лежить в межах від 6 до 16м³, коефіцієнт заповнення реактора рівний 0,5.

До реактора Р1 вапняне молочко подають зі збірника Зб2 переривистим струменем через об'ємно-ваговий дозатор ДЗ при безперервно працюючій мішалці (частота обертання мішалки при нейтралізації – 1,33об/с; при витримуванні – 0,67об/с). Процес нейтралізації ведуть наступним чином:

- культуральну рідину доводять до кипіння;
- додають 90% холодного вапняного молочка, підтримуючи температуру не нижче 90°C;
- доводять рівень рН до 7;
- кип'ятять близько 15 хвилин.

З реактора Р1 суспензія під тиском 0,25МПа потрапляє на фільтр-прес Ф6. Фільтрування проводять під тиском 0,9МПа. Фільтрат стікає до збірника Зб8, і насосом Н9 повертається в реактор Р1 [2].

Осад, що утворився, промивають гарячою водою, а потім підсушують повітрям і збирають у збірник Зб10. З останнього цитрат калію подають на розкладання до реактора Р11. Розкладання проводиться наступним чином:

- цитрат кальція розбавляють водою до концентрації сухих речовин 32-33%. Коефіцієнт заповнення – дві треті; температура – 75°C;
- у реактор Р11 зі збірника Зб12 через об'ємно-ваговий дозатор Д14 подають технічну сірчану кислоту, в результаті утворюється лимонна кислота і важкорозчинний гіпс, що випадає в осад. Температура реакційної маси близько 90°C; рівень рН – 1,5;
- через 30-40 хвилин від початку розкладання цитрату кальцію, при працюючій мішалці, проводять осадження іонів тривалентного заліза розчином десятивідсоткового гексаціанофероату кальцію, що подається до реактора Р11 зі збірника Зб13 через дозатор Д14, протягом 5-8 хвилин [2].

Фільтрування реакційної маси проводять на стрічковому вакуум-фільтрі Ф15 при температурі близько 90°C. Фільтрат збирають у вакуум-збірник Зб16, а потім насосом Н17 перекачують до збірника Зб18. Осад промивають водою, температура якої близька до 90°C. Промивання ведеться до тих пір, доки середня концентрація лимонної кислоти не буде становити 16%.

Далі розчин лимонної кислоти подають на випарювання. Його проводять періодично, у два етапи, у вакуум-випарних апаратах з виносною гріючою камерою. Використовують апарати таких конструкцій тому, що в процесі випарювання утворюється гіпс, який не лише забруднює сам розчини, але і відкладається на поверхні гріючих труб, що зумовлює зниження коефіцієнта теплопередачі.

Перше випарювання проводиться у вакуум-випарному апараті В19 протягом 4-6 годин, при питомій витраті пари 1,1кг на 1кг випареної вологи.

Випарювання ведеться, доки густина розчину лимонної кислоти не буде знаходитись в межах 1,26-1,28г/м³. Тиск у випарному апараті близько 80кПа. Випарювання ведуть з підливами розчину лимонної кислоти зі збірника 3618. Вторинну пару відводять з апарату і конденсують у барометричному конденсаторі К21 [2].

Розчин лимонної кислоти після першого випарювання зливають в реактор з мішалкою Р20, нагрівають до 70°С і додають активоване вугілля в кількості 1,5-2% по об'єму. Суспензію перемішують 30-35 хвилин і фільтрують на дисковому фільтрі Ф23 для відділення вугілля і гіпсу, що утворився при випарюванні. На фільтрування її подають під надлишковим тиском 0,2-0,3МПа.

Фільтрат збирають у збірник 3624, розбавляють і насосом Н25 перекачують до збірника 3626, з якого розчин поступає на друге випарювання.

Друге випарювання проводять у вакуум-випарному апараті В27. Тиск у ньому – 80кПа. Концентрування ведеться до тих пір, доки густина розчину не буде становити 1,37-1,38г/м³ [3].

Після випарювання концентрований розчин зливають у збірник 3628, з якого він подається на кристалізацію до кристалізатора К30. Суть процесу полягає в тому, що розчин лимонної кислоти спочатку охолоджують до 37°С, при швидкості охолодження 20°С/год, далі від 37 до 27°С, зі швидкістю 10°С/год, а потім від 27 до 22°С, із швидкістю 5°С/год. Охолодження проводять до температури 8°С, швидкість кристалізації при цьому становить 3°С/год. При кінцевій температурі кристалізації (20°С) розчин витримують 30 хвилин для «дозрівання» кристалів [2].

Для інтенсифікації процесу кристалізації лимонної кислоти було запропоновано встановлення проточного ультразвукового процесора в циркуляційному контурі приєднаного до кристалізатора. Після охолодження розчину лимонної кислоти до 37°С його подають по замкнутому контуру з кристалізатором, під первинну обробку ультразвуком, для пришвидшення

процесу утворення центрів кристалізації. Та вторинну обробку ультразвуком після охолодження до 20°C.

Відділення кристалів від маточного розчину ведеться на центрифугі Ц31. Застосовують підвісні центрифуги з нижнім ручним вивантаженням осаду. Роботу ведуть в наступній послідовності:

- центрифугу приводять в рух, і при частоті обертання близько 5об/с з реактора Р30 заливають суспензію кристалів лимонної кислоти;
- частоту обертання ротора збільшують до 16об/с. Відбувається відділення маточного розчину від кристалів лимонної кислоти;
- через 1-1,5 хвилини від початку роботи, коли маточний розчин перестане витікати, кристали промивають водою з температурою 35°C, до повного освітлення рідини;
- ротор зупиняють, відкривають кришку і вручну вивантажують кристали лимонної кислоти.

Вологість кристалів становить 2-3% [2].

Кристали через елеватор Е32 подаються в барабанну сушарку С34. Паралельно з останніми вводять нагріте до 70°C повітря. На виході з сушарки температура повітря становить 35°C.

Висушені кристали охолоджують і елеватором Е35 подають на сито Ст36 для просіювання, після якого готовий продукт збирається у збірнику 3б37. Зі збірника лимонну кислоту відправляють на фасування і пакування [2].

1.8. Висновки:

Отже, ультразвукова кавітація може точно регулювати процес кристалізації.

Переваги використання ультразвуку для кристалізації:

- Ультразвук ініціює і сприяє утворенню зародків і кристалізації органічних молекул. Контроль над кристалізацією і осадженням, що забезпечує високу якість продукції.
- значно швидший час індукції, з більш низьким рівнем перенасиченості, контроль за зростання кристалів.

Ультразвук дозволяє виготовляти кристали з урахуванням всіх вимог. Існує три основні варіанти впливу:

1. Первісний. Коротке застосування ультразвукових хвиль до пересичених розчинів може ініціювати посів та утворення зародків. Як обробка ультразвук застосовується тільки в початковій стадії, наступне зростання кристалів протікають безперешкодно, в результаті чого крупнозернисті кристали.
2. Безперервний. Безперервне опромінення перенасиченого розчину. призводить до зростання багатьох маленьких кристалів.
3. Імпульсний. Імпульсний метод впливу означає застосування ультразвуку в певних інтервалах. Точно контрольований вхід ультразвукової енергії дозволяє впливати на зростання кристалів, з урахуванням розміру кристала.

1.9. Основною задачею проведення дослідження є :

- 1.9.1. Дослідження методів кристалізації лимонної кислоти
- 1.9.2. Вивчення впливу ультразвукових коливань на процес кристалізації.
- 1.9.3. Опис методики проведення досліду
- 1.9.4. Проведення досліду по впливу ультразвукових коливань, аналіз даних, висновки по проведеному експерименту.
- 1.9.5. Підтвердження актуальності даного дослідження.

Інновацією роботи є модернізація стадії кристалізації за рахунок впровадження проточного ультразвукового процесора в циркуляційному контурі кристалізатора. Після охолодження розчину лимонної кислоти до 37°C його подають по замкнутому контуру з кристалізатором, під первинну обробку ультразвуком, для пришвидшення процесу утворення центрів кристалізації. Та вторинну обробку ультразвуком після охолодження до 20°C.

Прискорення кристалізації здійснюється за рахунок розчинення дрібних кристалів. пришвидшує процес утворення центрів кристалізації з 5-8 год до декількох секунд.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Опис експериментальної установки

Ультразвукова обробка екстрактів проводилася за допомогою ультразвукового генератора. Він генерує поздовжні механічні коливання з частотою 36 кГц, потужність 300 Вт. Прилад регулюється вручну, але можливий і комп'ютерний контроль ультразвуку. Для тривалої обробки середовища прилад кріпиться до стенду (штативу), для чого передбачений спеціальний утримувач.

На рис. 2. зображена схема досліду впливу ультразвукових коливань на швидкість кристалізації лимонної кислоти.

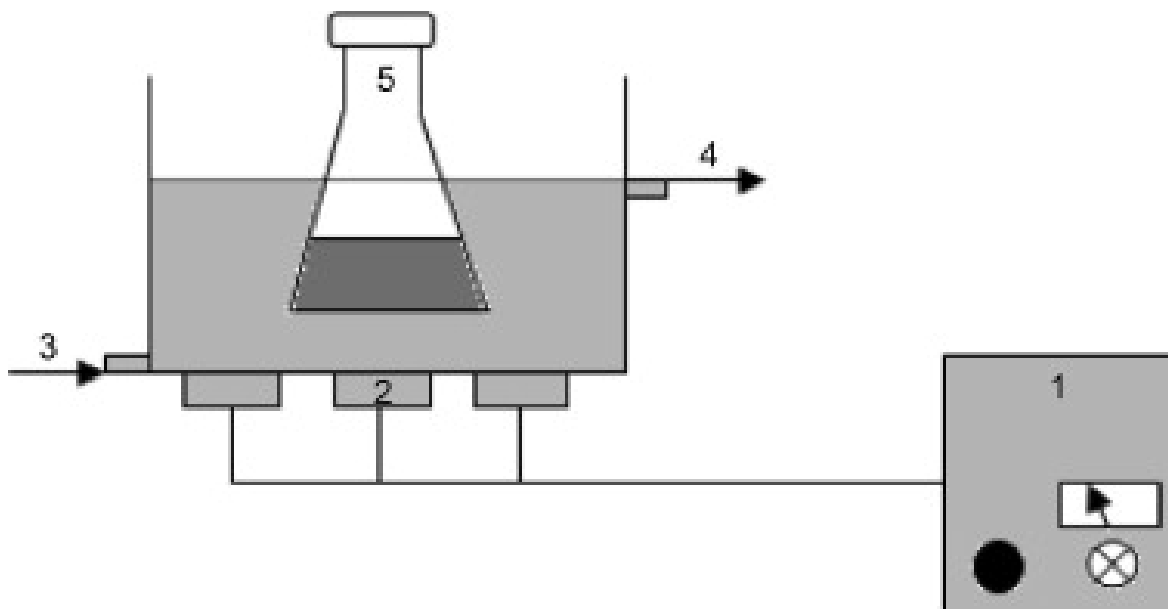


Рис. 1. Схема досліду. (1- ультразвуковий генератор, 2 – термостат, 3 – подача холодної води, 4 – відвід води, 5 – зразок, перенасичений розчин лимонної кислоти.

Експериментальна установка складається з ультразвукового генератора частотою 36 кГц, потужність 300 Вт. термостата СЖМЛ-19/2,5-И1.

Конструктивно термостат складається з бака і блоку управління. Бак є прямокутний корпус з теплоізованими стінками. Блок управління призначений для автоматичної підтримки температури в баку термостата або для подачі теплоносія із заданою температурою під зовнішні термостатуючі об'єкти. У блоці управління розміщені електронний регулятор температури, нагрівачі, насос, охолоджувач, патрубки введення і виведення, контактний термометр.

Рідина заливається в бак термостата і нагрівається двома нагрівачами потужністю 1000 Вт кожен. Термометричні системи й прилади поміщаються в заповнений рідиною бак термостата. За датчиком температури служить електроконтактний термометр. Тумблери РЕЖИМ і насос призначені для включення електронного блоку і електродвигуна насоса. Набір потужності нагріву здійснюється потенціометром, регулюючим шпаруватість імпульсів. Для більшого відбору потужності (при роботі термостата в діапазоні температур, відмінних від температури навколишнього середовища більше, ніж на 30 °C) в термостаті передбачений охолоджувач, який через патрубки підключається до водопровідної мережі. Подача теплоносія в зовнішні ємності проводиться по магістралях, через окремі патрубки. Перекачування і перемішування термостатно рідини здійснюється насосом подвійної дії і мішалкою.

2.2. Методика проведення експерименту

Мною було проведено дослід по впливу ультразвуку на процес кристалізації. Об'єктом дослідження була вибрана лимонна кислота.

Технічне найменування продукту - лимонна кислота $\text{HOOC-CH}_2\text{C}(\text{OH})-\text{COOH}$ є монооксітрикарбоною кислотою, яка кристалізується з водних розчинів з однією молекулою води (моногідрат лимонної кислоти) у вигляді безбарвних прозорих ромбоподібних кристалів

Кристалізація лимонної кислоти. Охолодження гарячого розчину проводять в кристалізаторі при безперервному перемішуванні. Пересичення, необхідне для утворення центрів кристалізації, досягається при зниженні температури концентрованого розчину. При температурі близько 37 °C вносять затравку кристалів лимонної кислоти в кількості 0,05% до маси розчину. Утворення і зростання кристалів відбуваються при зниженні температури. При цій температурі розчин, який являє собою суміш кристалів і маточного розчину, піддають під дію ультразвуку.

2.3. Методика обробки та аналіз результатів експериментів

Перший дослід було проведено без впливу ультразвуку, для визначення основних критеріїв кристалізації. Для приготування перенасиченого розчину було взято 100 мг дистильованої води, 220 г лимонної кислоти, термостат, термометр. Колбу з відміряними 100 мг дистильованої води помістили в термостат для нагрівання її до 75°C , поступово додаючи лимонну кислоту з постійним перемішуванням. Після повного розчинення у воді отримали перенасичений розчин лимонної кислоти. Для створення центрів кристалізації внесли 1 г лимонної кислоти при температурі 36°C та почали охолоджувати колбу з розчином до температури 20°C . Осад почав випадати через 10 хв. Розчин помістили в холодильну камеру з температурою 20°C .

Через одну годину в розчині віділився шар осаду у вигляді кристалів. В результаті отримали чітко виражені кристали білого кольору, більших розмірів над шаром осаду менших кристалів на дні пробірки.

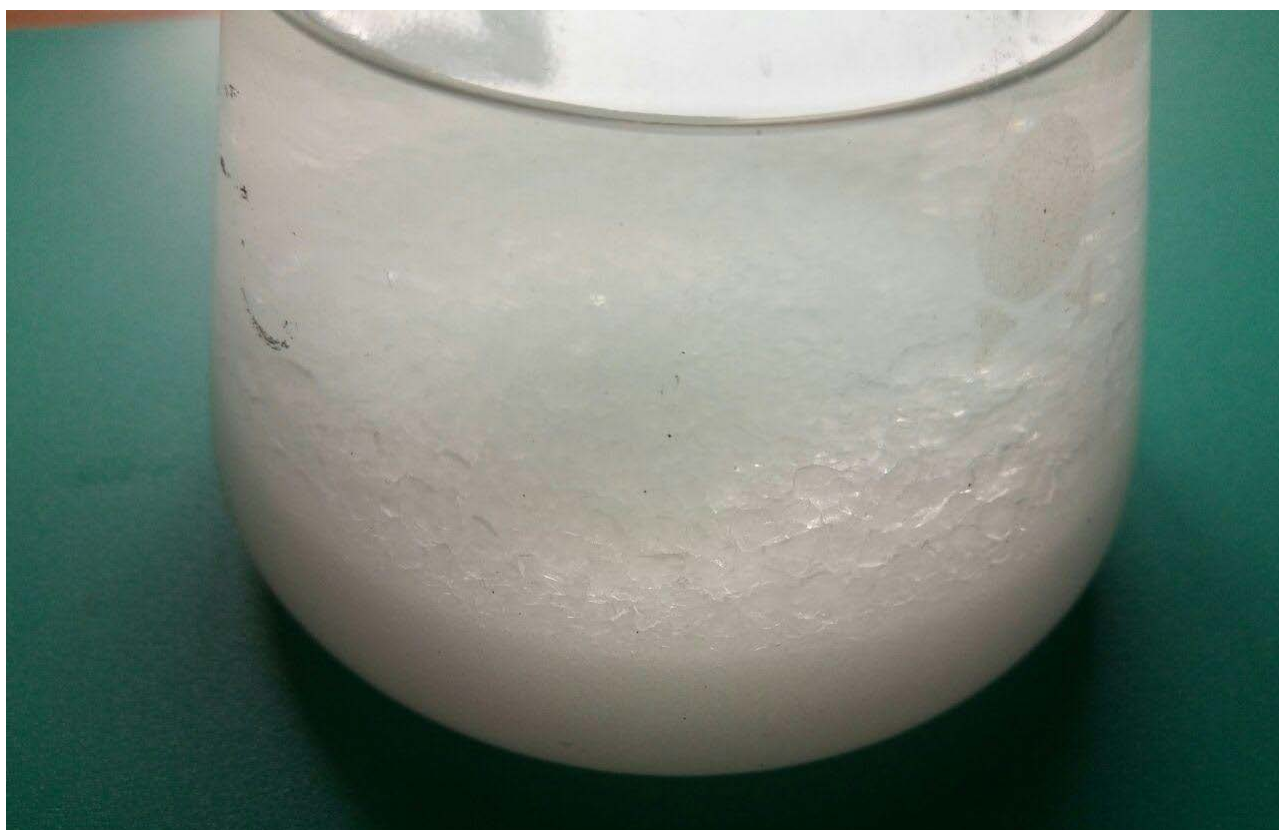


Рис. 2. Результат першого дослід

Для визначення оптимального часу обробки ультразвуковим процесором розчину лимонної кислоти в процесі її кристалізації. В наступних зразках після приготування перенасиченого розчину, його охолодження, та внесення в нього 1 г затравки кристалів лимонної кислоти помістили під дію ультразвукового генератору 36 кГц.

Для цих цілей можливе використання диспергуючої дії ультразвуку, який дробить кристали. Останні в свою чергу стають новими центрами кристалізації, знову дробляться і т.д.

Використання ультразвуку пришвидшує процес утворення центрів кристалізації з декількох годин, до декількох секунд. Прискорення процесів кристалізації визначається на стадії кавітації, коли диспергируючий ефект найбільший.

Вплив ультразвукової кавітації сприяє кристалізації і осадженню, що забезпечує дуже однорідне змішування. Ультразвукове розчинення є перевіреним способом отримання перенасичених розчинів. Інтенсивне перемішування, і, таким чином, поліпшується перенесення маси. Ультразвукові ударні хвилі сприяють утворенню ядер. Чим більше ядер висівають, тим швидше буде відбуватися зростання кристалів.

Було обрано час обробки ультразвуком для зразку № 1 на $\tau_{zp1} = 5хв$, та для зразку № 2 $\tau_{zp2} = 10хв$.

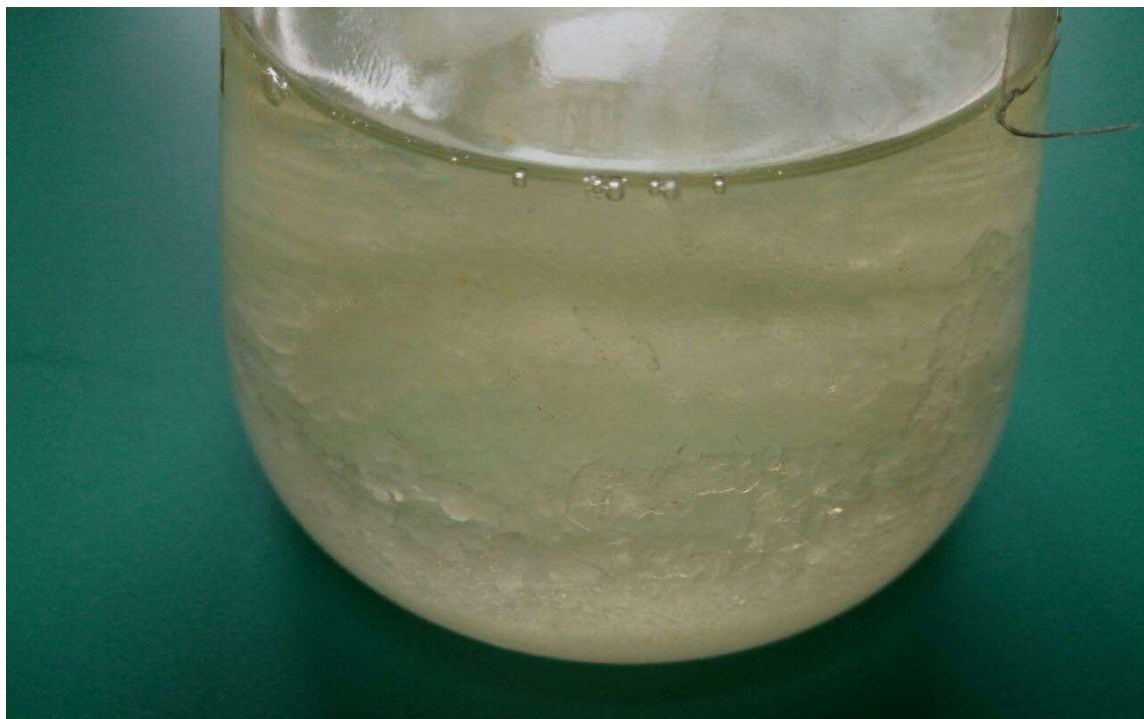


Рис. 3. Зразок № 1



Рис. 4. Зразок № 2

2.4.Висновки

В результаті дослідів в обох зразках спостерігались кристали приблизно однакових розмірів. Також, необхідно відмітити, в зразку № 2, що піддавався впливу ультразвуку на 10 хв, кристалізація почалася по всьому об'єму, про що свідчать кристали на стінках пробірки.

Застосування ультразвукового впливу з частотою коливань близько 36 кГц дозволяє різко інтенсифікувати процес, оскільки в кавітаційному режимі виникають сильні мікро- та макропотоки, що знімають дифузійні обмеження. Застосування ультразвукового впливу дозволяє поліпшити осьову однорідність розподілу домішок і компонентів за рахунок інтенсифікації тепло- і масообмінних процесів. Ультразвукова обробка в процесі кристалізації дозволяє отримати однорідний, матеріал з дрібнозернистою структурою.

Крім того, час, коли розчин піддається впливу ультразвуку, впливає на розмір наночастинок. Було виявлено, що розмір часток значно зменшується, якщо час ультразвуку було збільшено до 15 хв. Таким чином, 10 хвилин - це оптимальний час, який може бути використаний для впливу ультразвуку на розчин, для прискорення процесу кристалізації.

3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

3.1. Аналіз систем реалізації моделювання та вибір програмного забезпечення

SolidWorks – продукт компанії SolidWorks Corporation, система автоматизованого проектування у трьох вимірах, працює під керуванням Microsoft Windows. Розроблена як альтернатива для двовірних програм САПР. Придбала популярність завдяки простому інтерфейсу. Основний продукт SolidWorks включає інструменти для тривимірного моделювання, створення креслень, роботи з листовим металом, звареними конструкціям і поверхнями довільної форми. Є можливість імпортування великої кількості файлів 2D і 3D CAD програм. Є API для програмування в середовищі Visual Basic і C. Також включена програма для аналізу методом кінцевих елементів початкового рівня CosmosXpress.

Модель SolidWorks складається з деталей, збірок і креслень.

Звичайно спочатку створюємо ескіз, створюється основа, а потім у модель додаються численні елементи.

Можна скільки завгодно вдосконалювати креслення, додаючи, змінюючи елементи і їхній порядок.

Зв'язок між деталями, збірками й кресленнями гарантує, що після кожного редагування, зроблені в одному виді, автоматично виконуються у всіх інших видах.

Креслення або збірки можна створювати на будь-якому етапі в процесі проектування.

Додаток SolidWorks дозволяє створювати власне налаштування функцій, що відповідає конкретним вимогам. Програма SolidWorks виконує автоматичне збереження.

3.2. Побудова геометрії моделі та встановлення умов однозначності

Дослідження включають ідентичні матеріали, параметри сітки і кріплення. Матеріали, кріплення, конфігурації моделі і сітки статичних досліджень, об'єднані в дослідженні конструкції попосудини, що працює під тиском, повинні бути ідентичними. Можуть змінюватися тільки навантаження.

Запуск статичних досліджень

1. Щоб побудувати сітку дослідження Ready-Pressure, виконайте наступні дії:
В дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші Сітка і виберіть Створити сітку. а. У розділі Параметри сітки встановіть для параметра Одиниці виміру значення дюйми і для параметра Глобальний розмір значення 1,80. б. У розділі Параметри виберіть Запуск (рішення) аналізу. с. Натисніть ✓.
2. Скопіюйте сітку з дослідження Ready-Pressure в дослідження Ready-Temperature, Partial-VerticalGravity і Partial-HorizontalGravity.
3. Запустіть три дослідження, згадані вище. Копіювання сітки зберігає час і гарантує, що ви маєте однакову сітку для всіх статичних досліджень.

3.3.Результати 3D моделювання

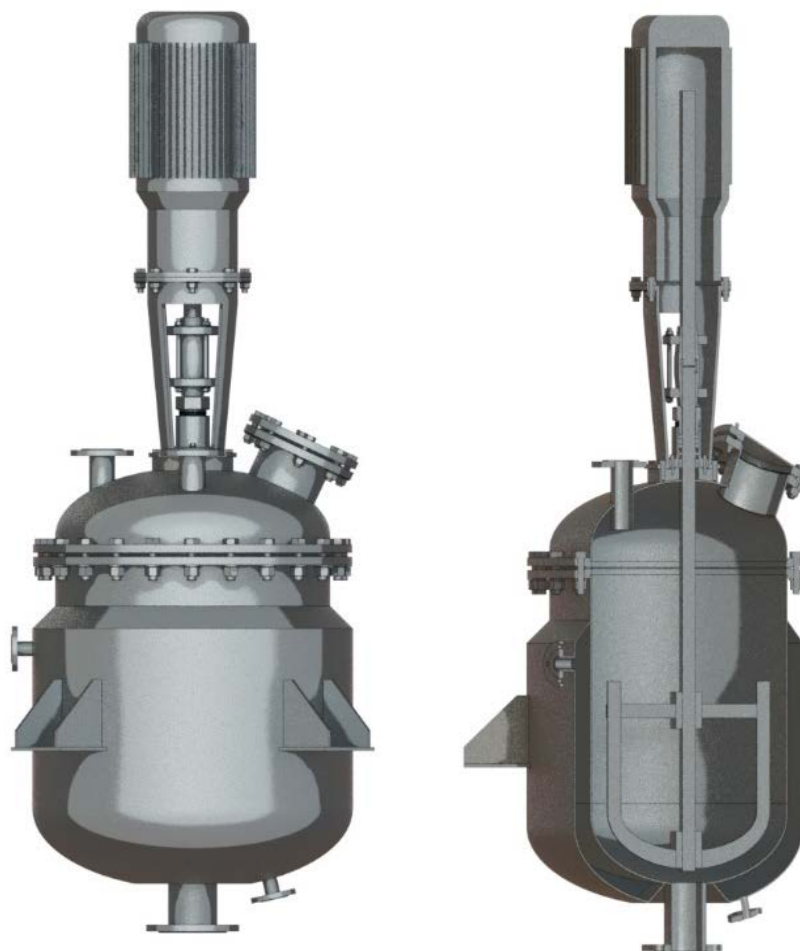
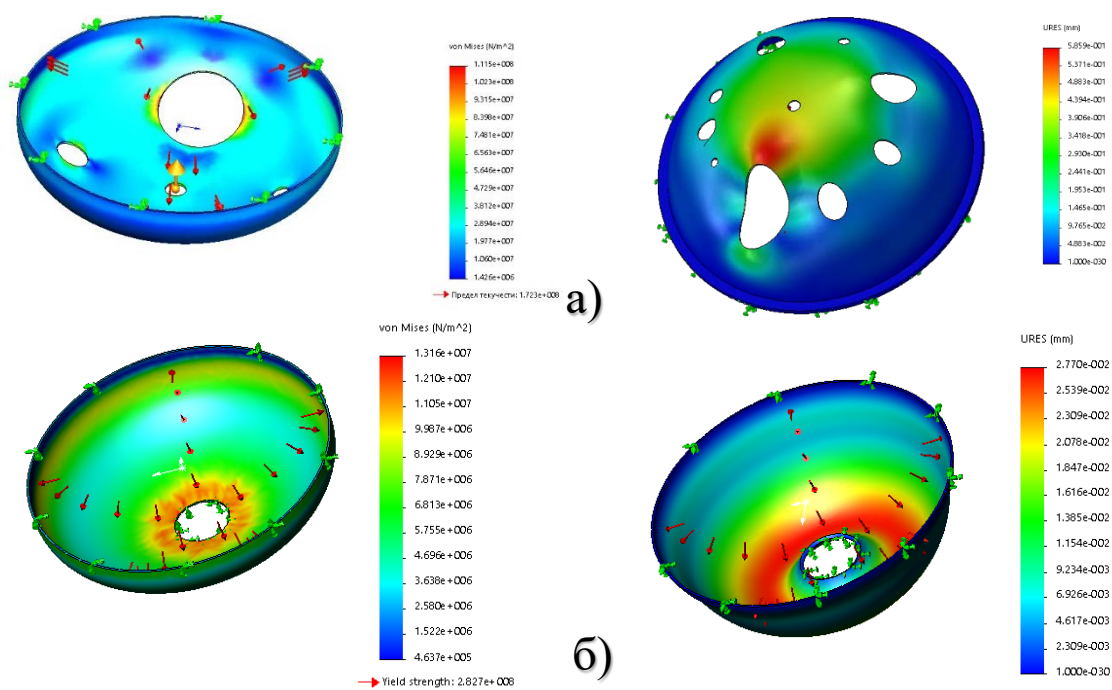


Рис. 3.1. 3D модель кристалізатора
Результати навантажень SolidWork`s:



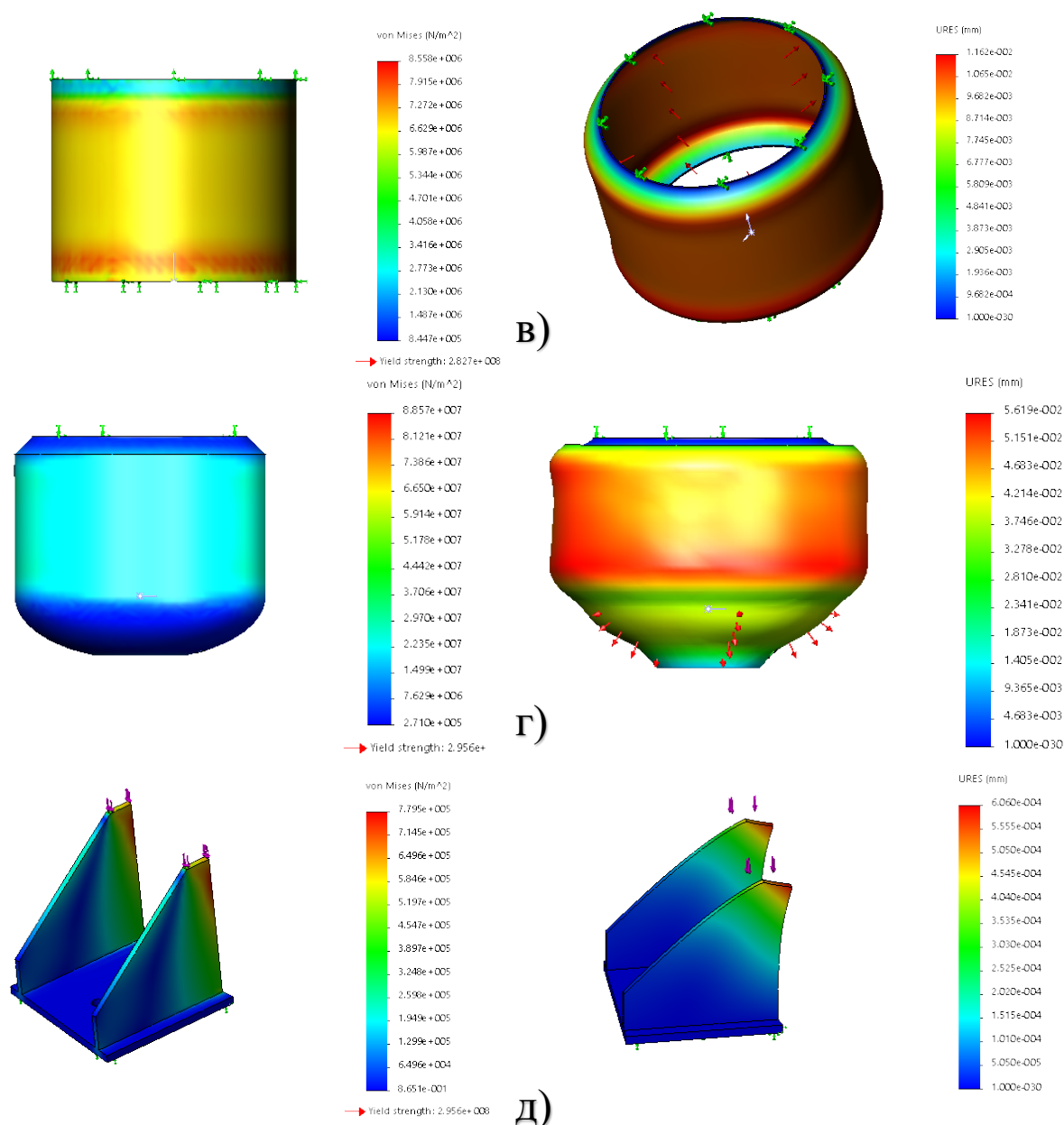


Рис. 3.2. Результати навантажень та переміщень проектованої конструкції Кристалізатора: а) кришка, б) днище, в) корпус, г) обичайка, д) опоры

3.4.Висновки:

Проведені попередні випробування підтверджують придатність перевіірочні-конструкторських розрахунків, виконаних системі SolidWorks для аналізу механічних впливів. Результати моделювання показали, що спрощені 3D-моделі елементів кристалізатора, дозволяють отримати результат з високим ступенем відповідності теоретичного і реальної поведінки конструкції.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

4.1.Опис конструкції кристалізатора

Кристалізатор представляє собою циліндричну обичайку, еліптичні днище і кришку, оточені сорочкою, яка призначена для протікання в ній охолоджуючої рідини, з одночасним перемішуванням, що забезпечує збільшення швидкості і рівномірності протікання процесу охолодження поживного середовища. Схема кристалізатора наведена на рисунку 4.1.

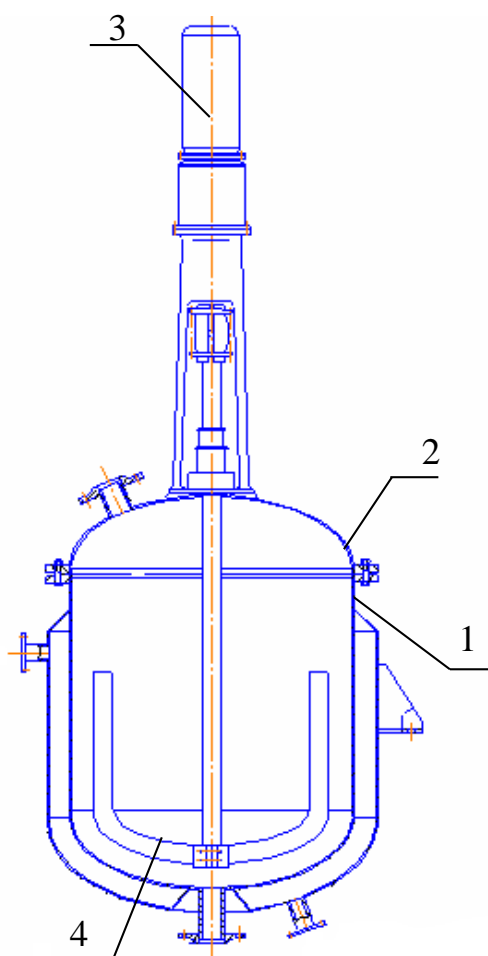


Рисунок 4.1. Схема кристалізатора:

1 – корпус; 2 – кришка; 3 – привід; 4 – перемішуючий пристрій

4.2. Вибір матеріалів кристалізатора

Для вибору матеріалу використовуємо технічні вимоги і технічну характеристику, яким має задовольняти апарат. Враховуючи, що тиск в апараті становить 0,1 МПа, для корпусу обираємо сталь 12Х18Н10Т. Дана марка сталі застосовується для виготовлення апаратів, які працюють у різних середовищах: розчинах азотної, оцтової, фосфорної кислот, розчинах лугів і солей.

Для сорочки обираємо сталь марки ВМСтЗКП (ДСТУ 380–60), що забезпечує проведення технологічних процесів за тиску, який не перевищує 0,4 МПа.

4.3. Технічна характеристика кристалізатора

Апарат призначено для перемішування та охолодження поживного середовища

1. Об'єм апарату, м ³	0,16
2. Тип перемішуючого пристрою - мішалка якірна	
3. Частота обертання вала мішалки, с ⁻¹	1,05
4. Потужність електродвигуна, кВт	0,44
5. Коефіцієнт заповнення	0,85
6. Площа поверхні теплообміну сорочки, м ²	0,9
7. Робочий тиск, МПа	
в корпусі	0,1
в сорочці	0,3
8. Температура середовища, °С	
в корпусі	—
початкова	80
кінцева	20
в сорочці	—
початкова	10
кінцева	15
9. Маса апарату без привода, кг	430
10. Габаритні розміри, мм:	
висота	1970
ширина	860
довжина	900

Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції кристалізатора:

4.4. Матеріальний баланс

Метою розрахунку матеріального балансу є визначення об'єму, необхідного для проходження процесу, вибір ректору відповідного розміру і визначення типу перемішуючого пристрою, для ефективного перебігу реакції.

Обираємо кристалізатор з номінальним об'ємом $V = 0,16 \text{ м}^3$, $\varphi = 0,85$ – коефіцієнт заповнення апарату, з сорочкою для охолодження та діаметром $D = 600 \text{ мм}$, із якірною мішалкою, що описує коло діаметром $d_m = 500 \text{ мм}$, яка забезпечує перемішування в'язких і важких рідин, інтенсифікацію теплообміну, усунення випадіння осаду на стінки і днище, обертається зі швидкістю $\omega = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, та поверхнею теплообміну $f_p = 0,9 \text{ м}^2$ [3].

Час, необхідний для проведення процесу [2]:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 0,75 + 0,5 + 0,75 = 2,0 \text{ год},$$

де $\tau_1 = 0,75 \text{ год}$ – час завантаження;

$\tau_2 = 0,5 \text{ год}$ – час охолодження;

$\tau_3 = 0,75 \text{ год}$ – час вивантаження кінцевого продукту.

Продуктивність кристалізатора [2]:

$$V_3 = \varphi \cdot V = 0,85 \cdot 0,16 = 0,136 \text{ м}^3.$$

$$W = \frac{V_3}{\tau} = \frac{0,136}{2,0} = 0,068 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}. \quad (4.1)$$

4.5. Тепловий баланс

Метою теплового розрахунку є перевірка правильності вибору кристалізатору і визначення витрат охолоджуючого агента.

Вихідні дані:

- холодний теплоносіє – заохолоджена вода,
- початкова температура холодного теплоносія – $t_{\theta_1} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- кінцева температура холодного теплоносія – $t_{\theta_2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- початкова температура продукту – $t_3' = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- кінцева температура продукту – $t_3 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Рівняння теплового балансу кристалізатора матиме вигляд [2]:

$$Q = Q_p + Q_n, \quad (4.2)$$

де Q_p – кількість теплоти, яку потрібно відвести з кристалізатора,

Q_n – кількість теплових втрат у навколишнє середовище.

Коефіцієнт теплопередачі від розчину до охолоджуючої води через стінку кристалізатора:

$$k_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4.3)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від розчину до внутрішньої поверхні кристалізатора, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні кристалізатора до води, що охолоджує, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

$\frac{\delta}{\lambda}$ – термічний опір стінки;

δ_1 – товщина стінки;

λ – коефіцієнт теплопровідності стінки.

Середня різниця температур:

$$\Delta t_{\delta} = t_3 - t_{\theta_1} = 20 - 10 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_3 - t_{\theta_2} = 20 - 15 = 5 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{\delta} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}, \Delta t_{\text{м}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

З огляду на те, що $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} = \frac{10}{5} = 2$, визначаємо середню логарифмічну різницю:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}} = \frac{10 - 5}{\ln \frac{10}{5}} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Середня температура охолоджуючої води:

$$t_{\theta} = t_3 - \Delta t_{\text{ср}} = 20 - 8 = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від розчину до внутрішньої поверхні кристалізатора:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_p}{d_{\text{м}}} \quad (4.4)$$

Критерій Нусельта має вигляд [3]:

$$\begin{aligned} Nu_1 &= C \cdot \text{Re}_{\text{ср}}^m \cdot \text{Pr}^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{\text{ср}}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{D}{d_{\text{м}}} \right)^{-1} = \\ &= 0,36 \cdot 257451^{0,67} \cdot 7,02^{0,33} \cdot \left(\frac{1004}{1306} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{0,6}{0,5} \right)^{-1} = 2320. \end{aligned}$$

$$\text{де } \text{Re}_{\text{ср}} = \frac{\rho \cdot n \cdot d_{\text{м}}^2}{\mu} = \frac{984,692 \cdot 1,05 \cdot 0,5^2}{1004 \cdot 10^{-6}} = 257451 - \text{режим руху турбулентний.}$$

Для апаратів з сорочкою $C = 0,36$, $m = 0,67$.

Необхідні фізичні величини [16]:

$\mu = 1004 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості розчину;

$\mu_{\text{ср}} = 1306 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості розчину при

температурі стінки;

$\text{Pr} = 7,02$ – критерій Прандтля;

$\lambda_3 = 59,9 \cdot 10^{-2} \frac{Bm}{m \cdot K}$ – коефіцієнт теплопровідності;

$d_m = 0,5 \text{ м}$ – діаметр кола, що описується мішалкою;

$n = 1,05 \frac{\text{об}}{с}$ – частота обертання перемішуючого пристрою.

Отже, коефіцієнт тепловіддачі від розчину до внутрішньої поверхні кристалізатора:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_p}{d_m} = \frac{2320 \cdot 0,599}{0,5} = 2779 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні корпусу до охолоджуючої води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_g}{l}. \quad (4.5)$$

Тепловіддача в циліндричній рубашці проходить в умовах вільної конвекції, тому формула для розрахунку коефіцієнту тепловіддачі буде мати вигляд [3]:

$$Nu_2 = C \cdot (Gr \cdot Pr)^m. \quad (4.6)$$

Визначаємо необхідні критерії.

Критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{g \cdot l^3}{\nu_g^2} \cdot \beta_g \cdot (t_{g_2} - t_{g_1}) = \frac{9,81 \cdot (0,8)^3}{(1,306 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 0,70 \cdot 10^{-4} \cdot (15 - 10) = 1,028 \cdot 10^9,$$

$$\text{де } \nu_g = 1,306 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{с}; \quad \beta_g = 0,70 \cdot 10^{-4} K^{-1}.$$

Критерій Прандтля $Pr = 7,02$ [2].

$C = 0,15, m = 0,33$, так як добуток $Gr \cdot Pr = 1,028 \cdot 10^9 \cdot 7,02 = 7,21 \cdot 10^9 > 10^9$ [3],

$$Nu_2 = 0,15(Gr \cdot Pr)^{0,33} = 0,15 \cdot (7,21 \cdot 10^9)^{0,33} = 268.$$

Тоді коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні корпусу до води, що охолоджує, матиме вигляд:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_g}{l} = \frac{268 \cdot 59,9 \cdot 10^{-2}}{0,8} = 201 \frac{Bm}{m^2 \cdot K},$$

де $\lambda_6 = 59,9 \cdot 10^{-2} \frac{Bm}{m \cdot K}$; $l = 0,8 \text{ м}$ – висота сорочки.

Тоді, підставивши усі числові значення, розрахуємо коефіцієнт теплопередачі:

$$k_F = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1}} = \frac{1}{\frac{1}{2779} + \frac{0,01}{40} + \frac{1}{201}} = 179 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

де $\lambda = 40 \frac{Bm}{m \cdot K}$ – теплопровідність стінки плоскої стінки, матеріал сталь

12X18H10T [3]; $\delta_1 = 0,01 \text{ м}$ – товщина стінки.

Кількість вихідного продукту $m_3 = 127 \text{ кг}$. Тоді продуктивність за зволожувачем дорівнюватиме [4]:

$$W_3 = \frac{m_3}{\tau_p} = \frac{127}{0,75 \cdot 3600} = 0,04704 \frac{кг}{с}.$$

Тоді кількість теплоти, яка отримана в результаті проходження процесу, становитиме:

$$Q_p = q \cdot \frac{W_3}{M_3} = \frac{4994 \cdot 0,04704}{0,127} = 1849,75 \text{ Вт},$$

Розраховуємо поверхню теплообміну, яка необхідна для ведення процесу [3]:

$$f_n = \frac{Q_p}{k_F \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1849,75}{179 \cdot 8} = 0,72 \text{ м}^2.$$

Відхилення від площі теплообміну обраного кристалізатора складатиме:

$$\psi = \frac{f_p - f_n}{f_p} \cdot 100\% = \frac{0,9 - 0,72}{0,9} \cdot 100 = 2\%.$$

Це відхилення є допустимим. Отже, обраний кристалізатор забезпечує потрібну площу поверхні теплообміну, що підтверджує правильність його вибору.

Зробимо перерахунок кількості теплоти, враховуючи реальну поверхню теплообміну:

$$Q_p = k_F \cdot f_p \cdot \Delta t = 179 \cdot 0,9 \cdot 8 = 1288,8 \text{ Вт}.$$

Витрати теплоти в навколишнє середовище дорівнюватимуть [2]:

$$Q_n = k_n \cdot f_p \cdot \Delta t_{cp} = 7,6 \cdot 0,9 \cdot 8 = 54,72 \text{ Вт}.$$

Отже, кількість теплоти Q , яку необхідно відводити буде дорівнювати:

$$Q = Q_p + Q_n = 1288,8 + 54,72 = 1343,52 \text{ Вт}.$$

Витрати води для охолодження розчину:

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 \cdot (t_{\theta_2} - t_{\theta_1})} = \frac{1343,52}{4190 \cdot (15 - 10)} = 0,064 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Визначимо швидкість води в рубашці:

$$w = \frac{4 \cdot G_2}{\rho \cdot \pi (D_p^2 - D^2)} = \frac{4 \cdot 0,064}{1000 \cdot 3,14 \cdot (0,7^2 - 0,6^2)} = 0,00063 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

4.6. Розрахунок мішалки

Метою розрахунку є розрахунок глибини воронки, ущільнення, потужності, та вибір двигуна.

Приймаючи відношення $\frac{D}{d_m} = 1,20$ [3], отримаємо діаметр мішалки:

$$d_m = 0,5 \text{ м}.$$

Приймаємо за таблицями $d_m = 0,5 \text{ м}$.

Приймаємо кутову швидкість мішалки $\omega = 1,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Тоді частота обертів

мішалки:

$$n = \frac{\omega}{\pi \cdot d_m} = \frac{1,5}{3,14 \cdot 0,5} = 0,955 \text{ с}^{-1}.$$

Повинна виконуватися умова:

$$n \geq C_1 \left(\frac{D \cdot \delta \cdot \Delta \rho}{d_m^4 \cdot \rho_3} \right)^{0,5} = 4,72 \left(\frac{0,6 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 620}{0,5^4 \cdot 984,692} \right)^{0,5} = 0,017,$$

де $C_1 = 4,72$ – приймаємо для якірної мішалки [3];

$\delta = 0,05 \text{ мм}$ – діаметр часток;

$$\Delta \rho = \rho_{kp} - \rho_e = 1620 - 1000 = 620 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Так як умова виконується, то $n = 1,05 \text{ c}^{-1}$ – приймається стандартне значення серед характеристик нормалізованих приводів [8].

Для визначення глибини воронки в кристалізаторі знайдемо значення параметрів Γ і $Re_{\text{цб}}$ при коефіцієнті заповнення $\varphi = 0,85$ та висоті рівня рідини $H_3 = 0,47 \text{ м}$. В цьому випадку [3]:

$$\Gamma = \frac{8H_3}{D} + 2 = 8,67.$$

Критерій Рейнольдса при перемішуванні:

$$Re_{\text{цб}} = \frac{n \cdot d_{\text{м}}^2 \cdot \rho_3}{\mu} = \frac{1,05 \cdot 0,5^2 \cdot 984,692}{1004 \cdot 10^{-6}} = 257451.$$

Знаходимо значення параметра гідравлічного опору E :

$$E = \frac{\Gamma}{\xi_{\text{м}} \cdot z \cdot Re_{\text{цб}}^{0,25}} = \frac{8,67}{1,28 \cdot 1 \cdot 257451^{0,25}} = 0,301,$$

де $z = 1$ – кількість мішалок на одному валу;

$\xi_{\text{м}} = 1,28$ – характерний параметр для якірної мішалки.

За значенням E за номограмою [3] знаходимо параметр $B = 10$.

Визначаємо глибину воронки:

$$h_6 = \frac{B \cdot n^2 \cdot d_{\text{м}}^2}{2 \cdot g} = \frac{10 \cdot 1,05^2 \cdot 0,5^2}{2 \cdot 9,81} = 0,14 \text{ м}.$$

Гранично допустима глибина воронки:

$$h_{\text{кр}} = H_3 - h. \quad (3.10)$$

$$h_{\text{кр}} = H_3 - 0,5d_{\text{м}}, \text{ так як, за таблицею, } \frac{h}{d_{\text{м}}} = 0,5. \text{ Тоді:}$$

$$h_{\text{кр}} = 0,47 - 0,5 \cdot 0,5 = 0,22 \text{ м}.$$

Так як розрахункова глибина воронки не перевищує гранично допустиму, то встановлювати відбиваючі перегородки не потрібно. Рівень рідини при утворенні воронки не перевищує висоту апарату.

Тепер обираємо ущільнення і проведемо розрахунок потужності [3].

Для вибору сальникового ущільнення попередньо розраховуємо діаметр вала мішалки:

$$d_e = C \cdot d_m = 0,05 \cdot 0,5 = 0,025 \text{ м},$$

де $C = 0,05$ для якірної мішалки.

Приймаємо діаметр вала $d_e = 0,040 \text{ м}$, обираємо сальникове ущільнення ВА40-К ОСТ 26-01-1247.

Потужність, яка затрачується в сальниковому ущільненні, розраховується наступним чином:

$$N_{yn} = 6020 \cdot d_e^{1,3} = 6020 \cdot 0,040^{1,3} = 91,679 \text{ Вт}.$$

За номограмою [3] знаходимо критерій $k_N = 0,5$, тоді потужність, яка затрачується на перемішування:

$$N = k_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 0,5 \cdot 984,692 \cdot 1,05^3 \cdot 0,5^5 = 17,811 \text{ Вт}.$$

Для розрахунку потужності двигуна приймемо додаткові умови: в апараті встановлена гільза термопари. Тоді коефіцієнт, який враховує наявність внутрішніх пристроїв:

$$\sum k_i = 1,2.$$

Коефіцієнт рівня рідини в апараті:

$$k_H = \left(\frac{H_3}{D} \right)^{0,5} = 0,91.$$

Беручи до уваги ці умови, знаходимо:

$$N_\gamma = \frac{k_N \cdot k_H \cdot \sum k_i \cdot N + N_{yn}}{\eta} = \frac{1,25 \cdot 0,91 \cdot 1,2 \cdot 17,811 + 91,679}{0,9} = 128,88 \text{ Вт}.$$

Вибираємо в якості привода мішалки мотор–редуктор типу МПО2 з потужністю електродвигуна $N = 0,44 \text{ кВт}$ [8].

4.7. Розрахунок штуцерів

Метою розрахунку є визначення потоку речовини в трубопроводах і розрахунок діаметрів штуцерів.

Діаметри штуцерів визначаємо за формулою [8]:

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot v_i}{\tau_i \cdot w \cdot \pi}}. \quad (4.11)$$

Швидкість потоку речовин у трубопроводі:

$$w_1 = \frac{4 \cdot v_i}{\tau_i \cdot \pi \cdot D_{yi}}. \quad (4.12)$$

Визначимо необхідні значення для розрахунку діаметрів штуцерів.

Швидкість потоку речовин в трубопроводі приймаємо $w = 1,1 \frac{M}{c}$.

Штуцер для подачі гарячого клейстеру:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot v_1}{\tau_1 \cdot w \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4(V_k + V_{en})}{\tau_1 \cdot w \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (0,00493 + 0,002)}{3600 \cdot 3,14 \cdot 1,1}} = 15 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр штуцера $D_y = 50 \text{ мм.}$

Швидкість потоку гарячого клейстеру:

$$w_1 = \frac{4 \cdot (V_e + V_{\bar{a}})}{\tau_1 \cdot \pi \cdot D_o} = \frac{4 \cdot (0,00493 + 0,002)}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,5^2} = 0,024 \frac{\bar{i}}{\bar{n}}.$$

Штуцер для вивантаження розчину зволожувача:

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_e}{\tau_4 \cdot w \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,129}{1800 \cdot 3,14 \cdot 1,1}} = 51 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр штуцера $D_y = 50 \text{ мм.}$

Швидкість потоку розчину зволожувача:

$$w_4 = \frac{4 \cdot V_e}{\tau_4 \cdot \pi \cdot D_o} = \frac{4 \cdot 0,129}{1800 \cdot 3,14 \cdot 0,5^2} = 0,091 \frac{\bar{i}}{\bar{n}}.$$

Штуцери для подачі та відводу охолоджуючої води:

$$d_a = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{3600 \cdot w \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,17}{3600 \cdot 3,14 \cdot 1,1}} = 24 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр штуцера $D_y = 25 \text{ мм.}$

Швидкість потоку води:

$$w_a = \frac{4 \cdot V_a}{\tau_3 \cdot \pi \cdot D_o} = \frac{4 \cdot 0,306}{1800 \cdot 3,14 \cdot 0,025^2} = 0,6 \frac{\bar{i}}{\bar{n}}.$$

4.8. Розрахунок фланцевого з'єднання обичайки кристалізатора

Фланцеве з'єднання – найбільш широко використовуваний вид роз'ємних з'єднань в хімічному машинобудівництві, що забезпечує герметичність та міцність конструкції, а також простоту виготовлення зборки та розбори.

Вихідні данні:

- внутрішній діаметр обичайки $D = 0,6 \text{ м}$;
- товщина стінки обичайки $s = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
- прибавка до розрахункової товщини стінки $c = 1,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
- внутрішній тиск $p_p = 0,3 \text{ МПа}$;
- температура в апараті $t = 80^\circ \text{ C}$;
- матеріал фланців сталь 12Х18Н10Т;
- матеріал болтів сталь 35Х.

Зовнішня вигинаюча сила та осьовий момент відсутні.

При внутрішньому діаметрі $D = 0,6 \text{ м}$ та внутрішньому тиску в апараті $p_p = 0,3 \text{ МПа}$ обираємо плоскі приварні фланці з гладкою ущільнюючою поверхнею (Рисунок 4.2.)[8].

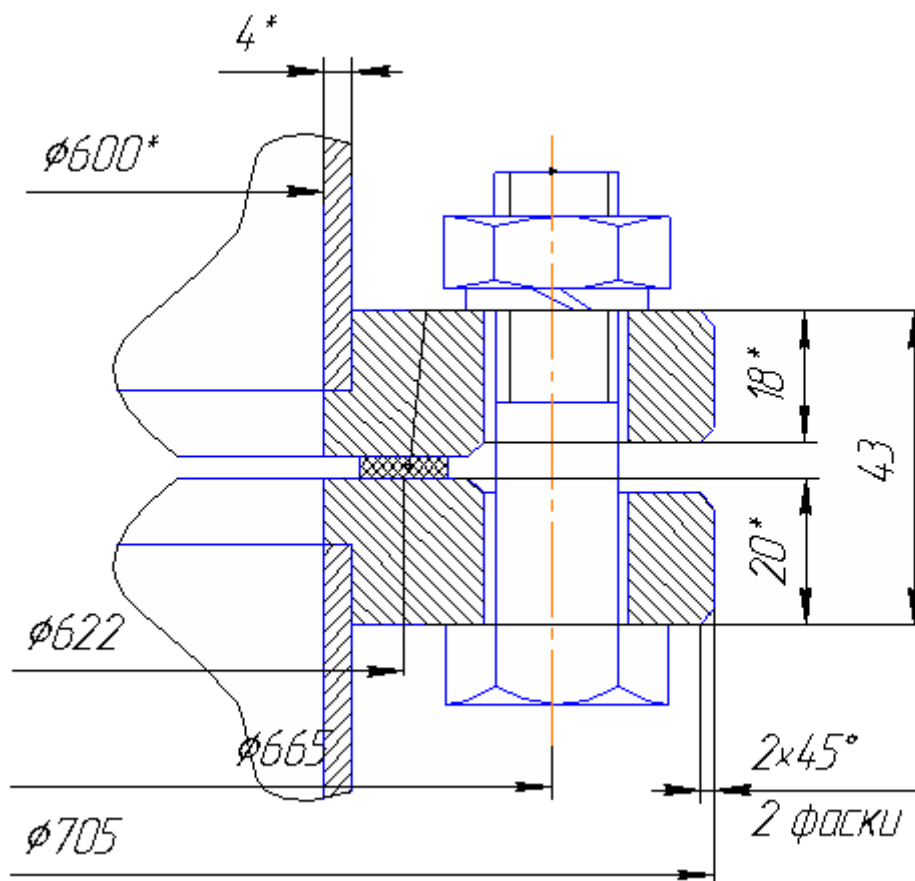


Рисунок 4.2.

Фланець плоский приварний

Проведемо конструктивний розрахунок фланця.

Висота втулки фланця:

$$h_g = 0,5\sqrt{D(s_o - c)} = 0,5\sqrt{0,6(0,004 - 0,00164)} = 0,0276 \text{ м}.$$

Приймаємо висоту втулки $h_g = 0,05 \text{ м}$.

Діаметр болтової окружності [9]:

$$D_d = D + 2(2s_o + d_d + e) = 0,6 + 2(2 \cdot 0,004 + 0,020 + 0,004) = 0,664 \text{ м},$$

де $d_o = 20 \text{ мм}$ – зовнішній діаметр болта при $D = 0,6 \text{ м}$ та $p_p = 0,4 \text{ МПа}$;

$u = 0,004 \text{ м}$ – нормативний зазор.

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_{\zeta} = D_d + a = 0,664 + 0,040 = 0,704 \text{ м},$$

де $a = 0,04 \text{ м}$ – конструктивна добавка для розміщення шестигранних гайок з діаметром болта $d_b = 0,02 \text{ м}$ по діаметру фланця.

Зовнішній діаметр прокладки для плоского фланця:

$$D_{\text{з.р.}} = D_a - a = 0,664 - 0,030 = 0,634 \text{ м} ,$$

де $e = 0,03 \text{ м}$ – нормативний параметр для плоскої прокладки.

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{с.р.}} = D_{\text{з.р.}} - b = 0,634 - 0,012 = 0,622 \text{ м} ,$$

де $b = 0,012 \text{ м}$ – ширина плоскої неметалевої прокладки для апарату з діаметром $D \leq 1 \text{ м}$.

Кількість болтів, що необхідна для забезпечення герметичності з'єднання [10]:

$$n_b \geq \frac{\pi D_b}{t_k} = \frac{3,14 \cdot 0,665}{0,09} = 23 ,$$

де $t_k = 4,5 d_b = 4,5 \cdot 0,02 = 0,09 \text{ м}$ – рекомендований крок розташування болтів, для апаратів, що працюють під робочим тиском в межах $p_p = 0,3 - 0,6 \text{ МПа}$.

Приймаємо кількість болтів $n_b = 24$, що кратна чотирьом.

Висота фланця:

$$h_\phi \geq \lambda_\phi \sqrt{Ds_{\text{ек}}} = 0,4 \sqrt{0,6 \cdot 0,006} = 0,019 \text{ м} ,$$

де λ_ϕ – поправочний коефіцієнт для плоских фланців, що працюють під робочим тиском $p_p = 0,4 \text{ МПа}$;

$s_{\text{ек}} = s_o = 0,004 \text{ м}$ – еквівалентна товщина для втулки плоских приварних фланців.

Приймаємо висоту фланця $h_\phi = 0,02 \text{ м}$.

Розрахункова довжина болта:

$$l_b = l_{b,o} + 0,28 d_b = 0,064 + 0,28 \cdot 0,020 = 0,071 \text{ м} ,$$

де $l_{b,o} = 2(h_\phi + h_n) = 2(0,02 + 0,002) = 0,064 \text{ м}$ – відстань між опорними поверхнями головки болта та гайки при товщині прокладки $h_n = 0,002 \text{ м}$.

Рівнодіюча внутрішнього тиску [9]:

$$F_o = \frac{p_p \pi D_{c.n.}^2}{4} = \frac{0,3 \cdot 3,14 \cdot 0,622^2}{4} = 0,167 \text{ МН}.$$

Реакція прокладки:

$$R_n = \pi D_{c.n.} b_o k_{np} p_p = 3,14 \cdot 0,622 \cdot 0,012 \cdot 1 \cdot 0,3 = 0,011 \text{ МН},$$

де $k_{np} = 1$ – коефіцієнт для резини з твердістю вище 1,2 МПа;

$b_o = b = 0,012 \text{ м}$ – ефективна ширина прокладки, так як $b < 0,015 \text{ м}$ [8].

Зусилля, що виникає від температурних деформацій:

$$F_t = \frac{y_o n_o f_o E_o (\alpha_\phi t_\phi - \alpha_o t_o)}{y_n + y_o + 0,5 y_\phi (D_o - D_{c.n.})^2} =$$

$$= \frac{5,5 \cdot 10^{-5} \cdot 24 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,95 \cdot 10^5 (16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 76,8 - 11,2 \cdot 10^{-6} \cdot 76)}{4,5 \cdot 10^{-3} + 5,5 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,95 (0,664 - 0,622)^2} = 0,0042 \text{ МН},$$

де $\alpha_\phi = 16,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C^0}$ та $\alpha_o = 11,2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C^0}$ – відповідно коефіцієнти лінійного

розширення матеріалу фланців (сталь 12Х18Н10Т) та болтів (сталь 35)[5];

$t_\phi = 0,96t = 0,96 \cdot 80 = 76,8^0 C$ – розрахункова температура неізолюваних фланців;

$t_o = 0,95t = 0,95 \cdot 80 = 76^0 C$ – розрахункова температура болтів;

$E_o = 1,95 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль пружності для болтів зі сталі 35;

$f_o = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ – розрахункова площа поперечного перерізу болта діаметром $d_o = 0,02 \text{ м}$;

$n_o = 24$ – кількість болтів;

y_o, y_n, y_ϕ – піддатливість відповідно болтів, прокладки фланців:

$$y_o = \frac{l_o}{E_o f_o n_o} = \frac{0,071}{1,95 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 24} = 5,5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МН}},$$

$$y_n = \frac{h_n}{E_n \pi D_{c.n.} b} = \frac{0,002}{16 \cdot 3,14 \cdot 0,622 \cdot 0,012} = 4,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{МН}},$$

де $E_n = 16 \text{ МПа}$ – модуль пружності для прокладки із резини з твердістю вище 1,2 МПа [5];

$$y_{\phi} = \frac{[1 - \nu(1 + 0,9\lambda'_{\phi})]\psi_2}{h_{\phi}^3 E} = \frac{[1 - 0,438(1 + 0,9 \cdot 0,463)]13,5}{0,02^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,95 \frac{1}{MH \cdot m},$$

$$\text{де } \lambda'_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{\sqrt{Ds_o}} = \frac{0,02}{\sqrt{0,6 \cdot 0,004}} = 0,463;$$

$$\psi_2 = \frac{D_3 + D}{D_3 - D} = \frac{0,704 + 0,6}{0,704 - 0,6} = 13,5;$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9\lambda'_{\phi}(1 + \frac{\psi_1 h_{\phi}^2}{s_o^2})} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,463(1 + \frac{0,083 \cdot 0,02^2}{0,004^2})} = 0,438,$$

$$\text{де } \psi_1 = 1,28 \lg\left(\frac{D_3}{D}\right) = 1,28 \lg\left(\frac{0,704}{0,6}\right) = 0,083;$$

$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль пружності для фланця зі сталі 12Х18Н10Т.

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$k_{\text{жс}} = \frac{y_{\bar{o}} + 0,5y_{\phi}(D_{\bar{o}} - D - s_o)(D_{\bar{o}} - D_{c.n.})}{y_n + y_{\bar{o}} + 0,5y_{\phi}(D_{\bar{o}} - D_{c.n.})^2} =$$

$$= \frac{5,5 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,95(0,664 - 0,6 - 0,004)(0,664 - 0,622)}{4,5 \cdot 10^{-3} + 5,5 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,95(0,664 - 0,622)^2} = 0,25.$$

Болтове навантаження в умовах монтажу до подачі внутрішнього тиску:

$$F_{\bar{o}1} = \max \left\{ \begin{aligned} k_{\text{жс}} F_{\bar{o}} + R_n &= 0,25 \cdot 0,167 + 0,011 = 0,0528 \text{ МН} \\ 0,5\pi D_{c.n.} b_o p_{np} &= 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,622 \cdot 0,012 \cdot 3 = 0,0413 \text{ МН} \end{aligned} \right\} = 0,0528 \text{ МН},$$

де $p_{np} = 3 \text{ МПа}$ – мінімальний тиск обхвату прокладки.

Болтове навантаження при робочих умовах:

$$F_{\bar{o}2} = F_{\bar{o}1} + (1 - k_{\text{жс}})F_{\bar{o}} + F_t = 0,0528 + (1 - 0,25)0,167 + 0,0042 = 0,182 \text{ МПа}.$$

Приведений згинаючий момент:

$$M_o = \max \left\{ \begin{aligned} 0,5(D_{\bar{o}} - D_{c.n.})F_{\bar{o}1} &= 0,5(0,664 - 0,622)0,0528 = 0,0011 \text{ МН} \cdot \text{м} \\ 0,5[(D_{\bar{o}} - D_{c.n.})F_{\bar{o}2} + (D_{c.n.} - D - s_o)F_{\bar{o}}] \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} &= \\ = 0,5[(0,664 - 0,622)0,182 + (0,622 - 0,6 - 0,004)0,167] \frac{160}{154} &= \\ = 0,0061 \text{ МН} \cdot \text{м} \end{aligned} \right\} = 0,0061 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

де $[\sigma]_{20} = 160 \text{ МПа}$ та $[\sigma] = 154 \text{ МПа}$ – відповідно допустиме напруження для матеріалу фланця при 20^0 C та при розрахунковій температурі $t = 80^0 \text{ C}$ [5].

Проведемо перевірку міцності та герметичності з'єднання [10]. Умова міцності болтів виконується:

$$\frac{F_{\delta 1}}{n_{\delta} f_{\delta}} < [\sigma]_{\delta 20} \quad \frac{0,0528}{24 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 8 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа},$$

$$\frac{F_{\delta 2}}{n_{\delta} f_{\delta}} < [\sigma]_{\delta} \quad \frac{0,182}{24 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 29 \text{ МПа} < 127 \text{ МПа},$$

де $[\sigma]_{\delta 20} = 130 \text{ МПа}$, $[\sigma]_{\delta} = 127 \text{ МПа}$ – допустиме напруження для сталевих болтів при 20^0 C .

Умова міцності неметалевої прокладки з резини виконується:

$$\frac{F_{\delta \max}}{\pi D_{c.n.} b} < [p_{np}] \quad \frac{0,182}{3,14 \cdot 0,622 \cdot 0,012} = 6,6 \text{ МПа} < 20 \text{ МПа},$$

де $[p_{np}] = 20 \text{ МПа}$ – допустимий тиск обхвату прокладки з резини твердістю від $1,2 \text{ МПа}$;

$$F_{\delta \max} = \max\{F_{\delta 1}; F_{\delta 2}\} = \max\{0,0528 \text{ МПа}; 0,182 \text{ МПа}\} = 0,182 \text{ МПа},$$

де $s_1 = s_o$, так як у плоского приварного фланця втулка циліндрична;

$$f_{\phi} = 1, \text{ так як } \frac{s_1}{s_o} = 1;$$

$$D^* = D = 0,7 \text{ м}, \text{ так як } D > 20s_o \quad (0,7 > 20 \cdot 0,006 = 0,12 \text{ м});$$

$$T_{\phi} = \frac{D_3^2 \left[1 + 8,551 \lg \frac{D_3}{D} \right] - D^2}{(1,05D^2 + 1,945D_3^2) \left(\frac{D_3}{D} - 1 \right)} = \frac{0,704^2 \left[1 + 8,551 \lg \frac{0,704}{0,6} \right] - 0,6^2}{(1,05 \cdot 0,6^2 + 1,945 \cdot 0,704^2) \left(\frac{0,704}{0,6} - 1 \right)} = 1,853.$$

Напруження на втулці від внутрішнього тиску:

– тангенційне

$$\sigma_t = \frac{p_p D}{2(s_o - c)} = \frac{0,3 \cdot 0,6}{2(0,004 - 0,00164)} = 32 \text{ МПа};$$

– меридіальне

$$\sigma_m = \frac{p_p D}{4(s_o - c)} = \frac{0,3 \cdot 0,6}{4(0,004 - 0,00164)} = 16 \text{ МПа}.$$

Умова міцності для перерізу, що обмежений розміром $s = 0,004 \text{ м}$, виконується:

$$\sqrt{(\sigma_o + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2 - (\sigma_o + \sigma_m)\sigma_t} < \varphi[\sigma]_o$$

$$\sqrt{(372 + 16)^2 + 32^2 - (372 + 16)32} = 373 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 600 = 540 \text{ МПа},$$

де $[\sigma]_o = 0,003E = 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 = 600 \text{ МПа}$ – допустиме напруження у фланці.

Кільцеве напруження у кільці фланця:

$$\sigma_\kappa = \frac{M_o [1 - \nu(1 + 0,9\lambda'_\phi)]}{Dh_\phi^2} = \frac{0,0061[1 - 0,438(1 + 0,9 \cdot 0,463)]}{0,6 \cdot 0,03^2} = 49,6 \text{ МПа}.$$

Умова герметичності фланцевого з'єднання виконується:

$$\theta = \frac{\sigma_\kappa}{E} \frac{D}{h_\phi} < [\theta];$$

$$\theta = \frac{49,6}{2 \cdot 10^5} \frac{0,6}{0,03} = 0,0058 \text{ рад} < 0,013 \text{ рад},$$

де θ – кут повороту фланця;

$[\theta]$ – допустимий кут повороту плоского фланця.

4.9. Розрахунок сорочки, навантаженої зовнішнім тиском

Метою розрахунку є визначення товщини стінки сорочки і її перевірка на міцність.

Розрахуємо на міцність сорочку апарату, навантаженої внутрішнім тиском за наступними вихідними даними:

- тиск в сорочці $P = 0,3 \text{ МПа}$;
- внутрішній діаметр обичайки $D = 0,6 \text{ м}$;
- матеріал сорочки сталь 10;
- час роботи апарату $\tau = 10 \text{ років}$.

Розрахункова товщина стінки обичайки [9]:

$$S_R = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - P} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,7}{2 \cdot 240 \cdot 10^6 - 0,4 \cdot 10^6} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де $[\sigma] = 240 \text{ МПа}$ – допустиме напруження для сталі 10 при температурі стінки 10°C .

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = S_R + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = (0,5 + 0,5 + 0,4 + 0 + 2,6) \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де c_1 – прибавка на товщину стінки, яка враховує корозію і ерозію,

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де Π – проникність, або швидкість корозії. Приймаємо $\Pi = 0,05 \frac{\text{мм}}{\text{рік}}$;

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа;

c_3 – технологічна прибавка, яка враховує стоншення листа внаслідок технологічних операцій, приймаємо $c_3 = 0$;

c_4 – прибавка на округлення до стандартного значення [10].

Приймаємо товщину стінки $S = 4 \text{ мм}$.

Допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - c)}{D + S - c} = \frac{2 \cdot 240 \cdot (0,004 - 0,0035)}{0,7 + 0,004 - 0,0035} = 0,46 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P \leq [P] \quad (4.13)$$

$$0,3 \text{ МПа} \leq 0,46 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується, що означає, що апарат сконструйовано і обрано вірно і немає необхідності його додатково укріплювати, адже він не зруйнується при заданих умовах технологічного процесу.

4.10. Розрахунок обичайки, навантаженої внутрішнім тиском.

Метою розрахунку є визначення товщини стінки корпусу і його перевірка на міцність.

Розрахункова товщина стінки обичайки [9]:

$$S_R = \frac{1,1 P D}{2[\sigma]} = \frac{1,1 \cdot 0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,6}{2 \cdot 195 \cdot 10^6} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де $[\sigma] = 195 \text{ МПа}$ – допустиме напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі стінки 20 °С [8].

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = S_R + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = (0,7 + 0,5 + 0,4 + 0 + 2,4) \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де c_1 – прибавка на товщину стінки, яка враховує корозію і ерозію,

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де Π – проникність, або швидкість корозії. Приймаємо $\Pi = 0,05 \frac{\text{мм}}{\text{рік}}$;

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа;

c_3 – технологічна прибавка, яка враховує стоншення листа внаслідок технологічних операцій, приймаємо $c_3 = 0$;

c_4 – прибавка на округлення до стандартного значення.

Приймаємо товщину стінки $S = 4 \text{ м}$.

Допустимий тиск з умови міцності розраховується за формулою:

$$[P]_M = \frac{2[\sigma] \cdot (S - c)}{D + (S - c)} = \frac{2 \cdot 195 \cdot 10^6 \cdot (4 - 3,3) \cdot 10^{-3}}{0,6 + (4 - 3,3) \cdot 10^{-3}} = 0,45 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Допустимий тиск з умови стійкості в границях пружності:

$$\begin{aligned} [P]_E &= \frac{18 \cdot 10^{-6} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l_R} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (S - c)}{D}} = \\ &= \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{11}}{2,4 \cdot 1} \cdot \frac{0,6}{0,8} \cdot \left(\frac{100 \cdot (4 - 3,3) \cdot 10^{-3}}{0,6} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (4 - 3,3) \cdot 10^{-3}}{0,6}} = 0,16 \cdot 10^6 \text{ Па}, \end{aligned}$$

де $n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу стійкості [11];

$l_R = 0,8 \text{ м}$ – розрахункова довжина частини обичайки, що навантажена зовнішнім тиском;

$$B_1 = \min \left\{ 1; 8,15 \cdot \frac{D}{l_R} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - c)}} \right\} = \min \left\{ 1; 8,15 \cdot \frac{0,6}{0,8} \cdot \sqrt{\frac{0,6}{100 \cdot (4 - 3,3) \cdot 10^{-3}}} \right\} =$$

$$= \min \{ 1; 66,0 \} = 1.$$

Допустимий зовнішній тиск дорівнює:

$$[P] = \frac{[P]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_M}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{0,45 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,45 \cdot 10^6}{0,16 \cdot 10^6} \right)^2}} = 0,63 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Перевіряємо умову міцності [10]:

$$P \leq [P]$$

$$0,3 \text{ МПа} \leq 0,63 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується, що означає, що апарат сконструйовано і обрано вірно і немає необхідності його додатково укріплювати, адже він не зруйнується при заданих умовах технологічного процесу.

4.11. Розрахунок днища сорочки, навантаженого внутрішнім тиском

Метою розрахунку є розрахунок товщини днища сорочки та його перевірка на міцність.

Розрахункова товщина днища [9]:

$$S_R = \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma] - 0,5P} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,35}{2 \cdot 188 \cdot 10^6 - 0,5 \cdot 0,4 \cdot 10^6} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де $[\sigma] = 188 \text{ МПа}$ – допустиме напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі стінки 100°C [11].

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = S_R + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = (0,4 + 0,5 + 0,4 + 0 + 3,1) \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де c_1 – прибавка на товщину стінки, яка враховує корозію і ерозію,

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де Π – проникність, або швидкість корозії. Приймаємо $\Pi = 0,05 \frac{\text{мм}}{\text{рік}}$;

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа;

c_3 – технологічна прибавка, яка враховує стоншення листа внаслідок технологічних операцій, приймаємо $c_3 = 0$;

c_4 – прибавка на округлення до стандартного значення.

Приймаємо товщину стінки $S = 4 \text{ мм}$.

Допустимий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - c)}{R + 0,5 \cdot (S - c)} = \frac{2 \cdot 188 \cdot 10^6 \cdot (0,004 - 0,0036)}{0,35 + 0,5 \cdot (0,004 - 0,0036)} = 1,72 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Перевіряємо умову міцності [10]:

$$P \leq [P]$$

$$0,3 \text{ МПа} \leq 1,72 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується, що означає, що апарат сконструйовано і обрано вірно і немає необхідності його додатково укріплювати, адже він не зруйнується при заданих умовах технологічного процесу.

4.12. Розрахунок днища обичайки, навантаженого зовнішнім тиском

Метою розрахунку є розрахунок товщини днища корпусу та його перевірка на міцність.

Розрахункова товщина стінки обичайки:

$$S_R = \max \left\{ \frac{K_e R}{510} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P}{10^{-6} E}}; \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma]} \right\} = \max \left\{ \frac{0,9 \cdot 0,3}{510} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,3 \cdot 10^6}{10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{11}}}; \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,3}{2 \cdot 195 \cdot 10^6} \right\} =$$

$$= \max \{ 1,6 \cdot 10^{-3}; 0,3 \cdot 10^{-3} \} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де $[\sigma] = 195 \text{ МПа}$ – допустиме напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі стінки 20°C [11];

$K_e = 0,9$ – коефіцієнт приведення радіуса кривини для еліптичного днища;

$n_y = 2,4$ – коефіцієнт запаса стійкості;

R – радіус кривини днища.

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = S_R + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = (1,6 + 0,5 + 0,4 + 0 + 1,5) \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де c_1 – прибавка на товщину стінки, яка враховує корозію і ерозію,

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де Π – проникність, або швидкість корозії. Приймаємо $\Pi = 0,05 \frac{\text{мм}}{\text{рік}}$;

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа;

c_3 – технологічна прибавка, яка враховує стоншення листа внаслідок технологічних операцій, приймаємо $c_3 = 0$;

c_4 – прибавка на округлення до стандартного значення.

Приймаємо товщину стінки $S = 4 \text{ мм}$.

Допустимий тиск з умови міцності розраховується за формулою:

$$[P]_M = \frac{2[\sigma] \cdot (S - c)}{R + (S - c)} = \frac{2 \cdot 195 \cdot 10^6 \cdot (4 - 2,4) \cdot 10^{-3}}{0,3 + (4 - 2,4) \cdot 10^{-3}} = 2,06 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

де K_e – коефіцієнт приведення радіуса кривини для еліптичного днища:

$$K_e = \frac{1 + (2,4 + 8x)x}{1 + (3 + 10x)x} = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot 0,0405) \cdot 0,0405}{1 + (3 + 10 \cdot 0,0405) \cdot 0,0405} = 0,996,$$

$$\text{тут } x = 10 \cdot \frac{S - c}{D} \cdot \left(\frac{D}{2H_\partial} - \frac{2H_\partial}{D} \right) = 10 \cdot \frac{(4 - 2,4) \cdot 10^{-3}}{0,6} \cdot \left(\frac{0,6}{2 \cdot 0,15} - \frac{2 \cdot 0,15}{0,6} \right) = 0,0405.$$

Допустимий зовнішній тиск дорівнює:

$$[P] = \frac{[P]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_M}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{2,06 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,06 \cdot 10^6}{1,16 \cdot 10^6} \right)^2}} = 1,24 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Перевіряємо умову міцності [10]:

$$P \leq [P]$$

$$0,3 \text{ МПа} \leq 1,24 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується, що означає, що апарат сконструйовано і обрано вірно і немає необхідності його додатково укріплювати, адже він не зруйнується при заданих умовах технологічного процесу.

4.13. Перевірка несучої спроможності апарату на дію опорних навантажень

Метою розрахунку є вибір типу опорних лап та перевірка несучої спроможності апарату на дію опорних навантажень.

Умова можливості застосування розрахункових формул [9]:

$$\frac{(S - c)}{D_R} \leq 0,05 \quad (4.14)$$

$$0,008 \leq 0,05.$$

Умова виконується.

Так як рівномірний розподіл усіх навантажень поміж опорних лап забезпечується, то формула для визначення зусилля, що діє на одну опорну лапу матиме вигляд:

$$F = \frac{G}{4} = \frac{677}{4} = 169,25 \text{ Н},$$

де $G = 677 \text{ Н}$ – вага апарату.

Обираємо опорні лапи типу І та конструкцію опор типу А[9] (Рисунок 4.3.).

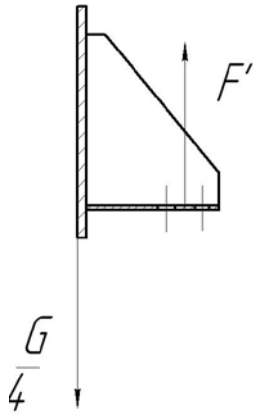


Рисунок 4.3. Схема розрахунку несучої спроможності опорної лапи

Допустиме значення зусилля, що діє на одну опорну лапу:

$$[F] = \frac{[\sigma_i] \cdot h_1 (S - c)^2}{K_T \cdot e_1} = \frac{84 \cdot 0,45 \cdot (0,004 - 0,00034)^2}{0,45 \cdot 0,155} = 13,8 \text{ кН},$$

де $[\sigma_i]$ – граничне напруження вигину;

h_1 – висота опорної лапи;

коефіцієнт $K_T = 0,45$ [8];

$$[\sigma_i] = K_1 \cdot [\sigma] \frac{n_T}{K_2} = 0,52 \cdot 130 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 84 \text{ МПа},$$

де $K_2 = 1,2$ для робочих умов;

$$K_1 = \left(\frac{1 + 3 \cdot \nu_1 \cdot \nu_2}{3 \cdot \nu_1^2} \right) \times \left(\sqrt{\frac{9 \cdot \nu_1^2 (1 - \nu_2^2)}{(1 + 3 \cdot \nu_1 \cdot \nu_2)^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \left(\frac{1 + 3 \cdot 0,3 \cdot 0,54}{3 \cdot 0,3^2} \right) \times \left(\sqrt{\frac{9 \cdot 0,3^2 (1 - 0,54^2)}{(1 + 3 \cdot 0,3 \cdot 0,54)^2} + 1} - 1 \right) = 0,52,$$

де $\nu_1 = 0,3$ коефіцієнт, що являє собою відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину;

ν_2 – коефіцієнт, що враховує ступінь навантаження загальними мембранними напруженнями,

$$\nu_2 = \frac{K_T \cdot \sigma_m}{n_T \cdot [\sigma] \cdot \phi} = \frac{1,2 \cdot 87,5}{1,5 \cdot 130 \cdot 1} = 0,54,$$

де σ_m – загальне мембранне напруження;

$[\sigma] = 130 \text{ МПа}$ – допустиме напруження для сталі 12Х18Н10Т [11];

$$\sigma_m = \frac{P \cdot D_R}{2(S - c)} = \frac{0,7 \cdot 0,3}{2(0,004 - 0,0034)} = 87,5 \text{ МПа},$$

де $D_R = 0,700 \text{ м}$ – внутрішній діаметр сорочки;

$p = 0,3 \text{ МПа}$ – тиск в рубашці.

Умова несучої спроможності:

$$F < [F] \quad (4.15)$$

$$169,25 \text{ Н} < 13800 \text{ Н}.$$

Умова несучої спроможності виконується.

4.14. Розрахунок вала перемішуючого пристрою на вібростійкість

Метою розрахунку є перевірка валу на вібростійкість.

Осьовий момент інерції [8]:

$$I = I_1 = I_2 = \frac{\pi \cdot d^4}{64}, \quad (4.16)$$

де I_1 та I_2 – осьові моменти інерції прольоту та консолі відповідно;

$d = 40 \text{ мм}$ – діаметр вала.

$$I = I_1 = I_2 = \frac{3,14 \cdot (0,040)^4}{64} = 0,13 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Коефіцієнт впливу δ_{11} для валу з однією зосередженою масою при $I = I_1 = I_2$ дорівнює [9]:

$$\delta_{11} = \frac{(L + l_1) \cdot l_1^2}{3 \cdot E \cdot I}, \quad (4.17)$$

де $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль пружності матеріалу вала [11];

$L = 0,55 \text{ м}$ – довжина прольоту;

$l_1 = 1,922 \text{ м}$ – відстань від другої опори до центру мас мішалки;

$L_2 = 2,11 \text{ м}$ – загальна довжина вала.

$$\delta_{11} = \frac{(0,55 + 1,922) \cdot (1,922)^2}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,45 \cdot 10^{-6}} = 32,21 \cdot 10^{-6} \frac{M}{H}.$$

Критична кутова швидкість ω_κ вала дорівнює кутовій швидкості його вільних коливань ω_c [12].

$$\omega_\kappa = \omega_c = \sqrt{\frac{1}{m \cdot \delta_{11}}}, \quad (4.18)$$

де $m = 65 \text{ кг}$ – маса мішалки.

$$\omega_\kappa = \omega_c = \sqrt{\frac{1}{65 \cdot 32,21 \cdot 10^{-6}}} = 21,8 \text{ с}^{-1}.$$

Так як $\omega > \omega_\kappa = \omega_c$ вал називають гнучким, а умова вібростійкості вала буде мати вигляд:

$$\frac{\omega}{\omega_\kappa} \geq 1,3.$$

В нашому випадку:

$$\frac{\omega}{\omega_\kappa} = \frac{46}{21,8} = 2,11 \geq 1,3 \text{ – умова вібростійкості виконується.}$$

Розрахуємо вал перемішуючого пристрою на міцність [9].

Крутний момент в небезпечному перерізі:

$$M_{кр} = \frac{N}{\omega} = \frac{3000}{0,77} = 3896 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент опору в небезпечному перерізі:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot (0,055)^3}{32} = 1,63 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Еквівалентне напруження в небезпечному перерізі:

$$\sigma = \frac{M_{кр}}{2 \cdot W} = \frac{3896}{2 \cdot 1,63 \cdot 10^{-5}} = 119,5 \text{ МПа}.$$

Граничне напруження:

$$[\sigma] = \frac{\varepsilon_m \cdot \sigma_{-1}}{K_\sigma \cdot n_{\min}}, \quad (4.19)$$

де $\varepsilon_m = 0,92$ – масштабний коефіцієнт [5];

$\sigma_{-1} = 400 \text{ МПа}$ – границя витривалості;

$\kappa_{\sigma} = 1,46$ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень;

$n_{\min} = 2$ – мінімальний запас міцності на витривалість.

$$[\sigma] = \frac{0,92 \cdot 400}{1,46 \cdot 2} = 133 \text{ МПа}.$$

$\sigma = 119,5 \text{ МПа} < [\sigma] = 133 \text{ МПа}$ – умова міцності виконується.

4.15. Висновки:

В проекті було розглянуто один із процесів одержання лимонної кислоти.

Було розроблено кристалізатор, як основний апарат для забезпечення процесу отримання лимонної кислоти. У роботі приведені параметричні і теплові розрахунки, а також розрахунки на міцність, які підтверджують працездатність та надійність апарату.

Розроблений кристалізатор відповідає вимогам стандартів і забезпечує виробництво при експлуатації.

5. Стартап

5.1.Резюме

Бізнес ідея – «Лінія виробництва лимонної кислоти з використанням ультразвукової кристалізації, розробка ємнісного кристалізатора», промисловий випуск лимонної кислоти.

Харчова промисловість традиційно є основним споживачем виробленої таким чином кислоти, оскільки продукти природного бродіння мають переваги порівняно з хімічно синтезованими та не містять токсичних, для організму людини, домішок. Лимонна кислота є широкоживаною нешкідливою харчовою добавкою (E330), крім того, її застосовують у медицині, кондитерській промисловості, косметичній галузі тощо. Одним з головних завдань у виробництві лимонної кислоти є досягнення її високого виходу.

Попит на лимонну кислоту безперервно зростає, але в колишніх соціалістичних країнах він задовольняється вкрай слабо, тому в даний час організовуються нові виробничі потужності з випуску цього цінного продукту.

Метою проекту є здійснення підприємницької діяльності з метою задоволення потреб у медичних препаратах та харчових добавок, як наслідок, отримання грошової винагороди, а також задоволення економічних та соціальних потреб засновника та трудового колективу.

Тема: Модернізація апарату для виробництва лимонної кислоти.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники

№ п/п	Показник	Значення показників підприємства	
		Проектне підприємство	Позначення
1	Річний випуск продукції, грн/рік	9 000 000	B_H
2	Чисельність персоналу за списком, осіб основні та допоміжні робітники: інженерно-технічний персонал:	40 14 4	$\chi_{сп_H}$ $\chi_{спр_H}$ $\chi_{спі_H}$
3	Середньорічний виробіток працівника, од/особу	5 000	$B_H / \chi_{спр_H}$
4	Капіталовкладення у проект, грн: всього, грн: на одиницю продукції, грн/кг:	10 302 120 51,5	K K / B_H
5	Загальна собівартість продукту: всього, грн на одиницю продукції, грн	6 815 453 34	C_{3H} C_H
6	Ринкова вартість продукту, грн/кг.	50	Π
7	Відносний прибуток на одиницю продукції, грн/од.	16	$\Pi_H = \Pi - C_H$
8	Рентабельність продукту, %	47, 05	$P_H = (\Pi_H \cdot 100) / C_H$
9	Термін повернень капіталовкладень, років	2,65	$T_{пов} = K / \Pi_H$
10	Вартість виробничих фондів, грн У тому числі: основних; оборотних	6 525 000 4 025 000 2 500 000	$B\Phi_H$ $O\Phi_H$ $O\phi\Phi_H$
11	Фондовіддача виробничих фондів, грн/рік	1,37	$\Phi B_H = (B_H \cdot \Pi) / B\Phi_H$
12	Фондомісткість, грн./грн	0,73	$\Phi\epsilon_H = 1 / \Phi B_H$
13	Продуктивність праці підрозділу, грн./особу	225 000	$\Pi\Pi_H = (B_H \cdot \Pi) / \chi_{сп_H}$
14	Коефіцієнт економічної ефективності	0.377	$E = 1 / T_{пов}$

5.2. Загальна характеристика розробки

Назва: Лінія виробництва лимонної кислоти з УЗ кристалізатором.

Склад: Лимонна кислота є трьохосновною оксикислотою, яка кристалізується з водних розчинів з однією молекулою води у вигляді безбарвних прозорих ромбічних призм .

Суб'єкт замовлення: мережі роздрібної та дрібно оптової торгівлі спортивного харчування, харчових добавок, сільськогосподарські ферми.

Об'єкт дослідження: Лимонна кислота — продукт ферментації та кристалізації з використанням ультразвукової установки в процесі виробництва.

Місце розробки у інноваційному ланцюжку цінностей:

Ідея→Розробка→Планування→Закупівля→Виробництво→Просування→
Збут→Продаж→Логістика→Обслуговування→Утилізація

Дана ідея знаходиться на стадії розробки.

Плановий обсяг випуску продукції за п'ять перших років: у перші 3 роки планується випуск 200 000 т /рік, на четвертий та п'ятий роки – збільшення випуску на 10%.

Продуктом є лимонна кислота, яку застосовують для збагачення харчових продуктів та кормів тварин.

Технологічний процес:

1. Стерилізація живильного посівного середовища, підготовка устаткування
2. Прийом і стерилізація складових частин вихідного і живильного середовища виробничої ферментації.
3. Підготовка устаткування, прийом і стерилізація складових частин вихідного й підживлюючого живильних середовищ.
4. Підготовка стерильного стисненого повітря, повітря для аерації.
5. Вирощування посівного матеріалу для посівного апарату в інокуляторі
6. Підготовка інокулятора й завантаження живильного середовища
7. Вирощування посівного матеріалу в посівному апараті.
8. Підготовка посівного апарату і завантаження живильного середовища.

9. Засів середовища й вирощування посівного матеріалу
10. Виробнича ферментація
11. Охолодження культуральної рідини.
12. Процес кристалізації.

Сировинна база – підприємство закупляє основну сировину, а саме компоненти поживного середовища, бурякову мелясу.

Таблиця 5.2 – Постачальники сировини

Назва постачальника	Fas trade (Україна)	ТОВ "Призма-14"	ФОП Бойко	ООО "Вест Прайд Трейд"	FCA Молдова
Асортимент постачання	Бурякова меляса				
Ціна	3200 грн/т	3400 грн/т	3800 грн/т	74\$/ т	85 €/т
Партія	Уточнювати	Від 22 т.	Від 5 т.	Від 20 т.	Від 20 т.

Матеріально-технічна база закупасться так, щоб гарантійний термін, по можливості, збігався з періодом амортизації.

Кваліфікація працівників — високий рівень професійної придатності, що забезпечується сукупною наявністю у працівників загальноосвітніх і спеціальних знань, умінь, здібностей, досвіду і трудових навичок. Основна увага надається працівникам з відділу виробництва, а також відділу контролю якості. Персонал повинні мати вищу біотехнологічна освіту.

- робітники і фахівці з середньою освітою: різноробочі;
- фахівці з вищою освітою: інженер-технолог, інженер-механік;
- керівники структурних підрозділів: керівник виробничого цеху, начальник складового приміщення, керівник відділу підготовки сировини, керівник контролю якості;

- головні спеціалісти: головний технолог, головний інженер, головний бухгалтер, головний енергетик; директор.

Ринок збуту — кондитерське, напоїв, косметичне, фармацевтичне виробництво, звіринницькі господарства. А також можливість продажу розробки — ємнісний кристалізатор з використанням ультразвукової установки, фармацевтичним та харчовим компаніям.

На сьогоднішній день Україна є крупним постачальником лимонної кислоти. В Україні лимонну кислоту виробляють 2 підприємства: ВАТ "Смілянський сахарокOMBінат" (Черкаська обл.) і Харківський завод харчових кислот.

Приріст виробничих потужностей складає 7-10% на рік.

Планується випуск 200 000 кг /рік.

Ціна за одиниці продукції – 50 грн/кг

Вартість наукової розробки складає $K = 10,302$ млн грн.

Період повернення капіталовкладень – 2,65 років.

5.3. Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства

Аналіз зовнішнього середовища має подвійну мету: визначити чинники, що сприяють досягненню цілей, а також визначити чинники, що обмежують можливості досягнення цілей.

Таблиця 5.3. – Аналіз зовнішнього середовища (загрози і можливості)

Загрози	Можливості
<i>Зовнішнє середовище</i>	
<i>Політика</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Нестабільна політична ситуація в країні - Постійна зміна законодавства - Спад зацікавленості з виникненням політичної нестабільності; - Відсутність інвестицій; 	<ul style="list-style-type: none"> - Низький рівень контролю з боку влади - Проведення чинною владою низки аграрних реформ - Програми підтримки малого бізнесу(біотехнологічної галузі) - Відсутність контролю.
<i>Демографія</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Зниження попиту у зв'язку з збільшенням смертності; - Деградація населення - Зміна ринку праці - Безробіття - Низький рівень життя 	<ul style="list-style-type: none"> - Збільшення попиту на медичні вироби та харчові добавки для тварин. - Широкий вибір спеціалістів - Велика чисельність населення, як потенційних споживачів; - Дешева робоча сила
<i>Географія</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Близьке розташування конкурентів - Високі тарифи на комунальні послуги 	<ul style="list-style-type: none"> - Використання в будь-яких регіонах - Великий вибір кваліфікованих і талановитих кадрів; - Розташування - Можливість експорту
<i>Економіка</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Корупція 	<ul style="list-style-type: none"> - Використання допомоги аграрному сектору

<ul style="list-style-type: none"> - Існування залежності фінансового стану від зовнішніх факторів - Нестабільність курсу валют - Падіння ВВП - Інфляція 	<ul style="list-style-type: none"> - Зменшення кількості конкурентів
<i>Науково-технічний прогрес</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Низький рівень науково-технічного прогресу в Україні; - Необхідність модернізації в майбутньому 	<ul style="list-style-type: none"> - Високо-кваліфіковані професіонали - Власна розробка - Наявність різноманітних і дієвих безкоштовних/дешевих методів і засобів реклами
<i>Культура</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Зниження культурного та просвітницького рівня у покоління, що є основною робочою силою - Різноманітні соціальні групи і класи; - Непунктуальність та недобросовісність персоналу 	<ul style="list-style-type: none"> - Покращення культурно просвітницького рівня у молодого покоління (якісна заміна кадрів) - Підвищення культурно-освітнього рівня населення - Індустріалізація суспільства

Таблиця 5.4. – Аналіз внутрішнього середовища (загрози і можливості)

Переваги	Недоліки
<i>Внутрішнє середовище</i>	
<i>Постачання</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Дешевизна та доступність матеріалів. - Спеціально обладнане приміщення для виробництва - Велика кількість дипломованих спеціалістів в даній галузі. 	<ul style="list-style-type: none"> - Багаторазове постачання матеріалів для виробництва - Спеціально обладнане приміщення для виробництва - Приміщення, склад - Комунальні послуги - Транспортування
<i>Виробництво</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Можливість зменшити кількість працівників за рахунок нового обладнання - Гнучкість виробничої лінії - Розширення спеціалізації - Можливість збільшення випуску продукції 	<ul style="list-style-type: none"> - Шкідливість виробництва - Ускладнення виробництва через новизну і нестандартність - Спеціальне, складне обладнання - Високі вимоги до якості. - Необхідність кваліфікованих працівників
<i>Конкуренція</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Мала кількість конкурентів - Зріст попиту через високу якість спроектованого апарату 	<ul style="list-style-type: none"> - Довгострокові договори про виробництво та постачання апарату з іншими підприємствами
<i>Споживачі</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Виробництво проводиться лише під замовлення - Багатофункціональність новітньої розробки - Можливість використання в інших сферах - Рівень стандартизації та уніфікації - Високий рівень автоматизації 	<ul style="list-style-type: none"> - Виробництво проводиться лише під замовлення - Мала кількість споживачів - Дорогий ремонт - Великі габаритні розміри

5.4. Аналіз потенційного ринку збуту і конкурентного середовища за методом квадрату Бове

В Україні лимонну кислоту виробляють 2 підприємства: ВАТ "Смілянський сахарокомбінат" (Черкаська обл.) і Харківський завод харчових кислот.

Лідер ВАТ "Смілянський сахарокомбінат" Харківський завод харчових кислот.	Наступаючі
Готові обійти <u>Власна інновація</u>	Пртизани

До економічних показників входу на ринок слід віднести наступні:

- ціна одиниці продукції – 45 грн/кг;
- загальні обсяги збуту на перший рік діяльності – 200 000 кг;
- заплановане збільшення обсягів продажу на четвертий та п'ятий роки діяльності – на 10% від початкового обсягу.

Таблиці 5.5 – Характеристика можливих товарів підприємства

№	Товар	Обсяг збуту, тис. од. (%)	Дохід, млн. грн (%)
1	Порошок	21 млн кг (60%)	118 (45%)
2	харчова добавка Е330	1,75 млн кг (5%)	40 (15%)
3	Кондитерська промисловість	8,750 млн (20%)	65 (25%)
4	Розчин лимонної кислоти	1,75 млн кг (5%)	26 (10%)
5	Виробництво напоїв	5,250 млн кг (10%)	13(5%)

За методом квадрату Бове запропоновану інженерну розробку можна віднести до зони “Готові обійти”, тому що завдяки інноваційній ідеї розробка може конкурувати з лідерами на ринку.

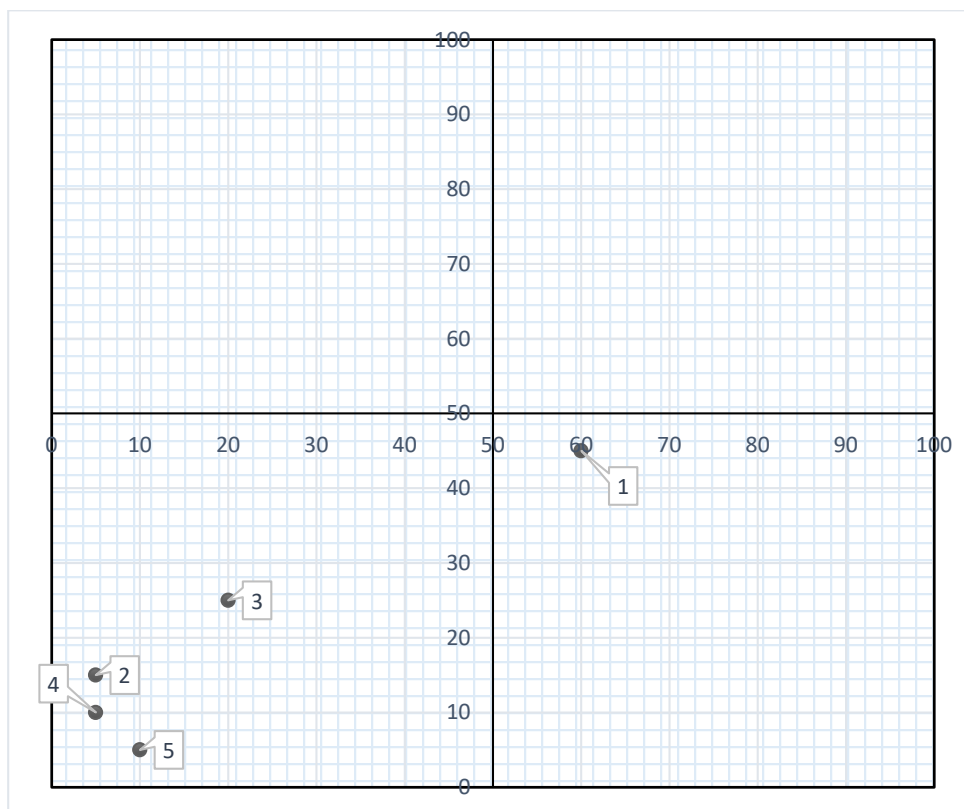


Рис.5.1. Матриця БКГ

Отже, за результатом аналізу за методом Бостонської матриці видно, що запропонована Інновація знаходить в зоні “Дійні корови”. Отже, підприємство знаходиться на зростаючому ринку, але вимагає інвестиційних вкладень для збільшення конкурентоспроможності, перспективним товаром.

5.5.Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда

Було проведено аналіз даних товарів за обраними параметрами як найбільш актуальними для споживача та підприємства.

Таблиця 5.6 – Ключові фактори успіху

Показник	Вагомість показника	Ідеї / Оцінка		
		Порошок (1)	Е330 (2)	Розчин ЛК (3)
1.Продуктивність	0,25	4	4	3
2. Ціна	0,2	5	2	2
3. Ефективність	0,2	3	5	4
4. Якість	0,2	2	5	4
5.Різноманітність спектру застосування	0,05	4	5	4

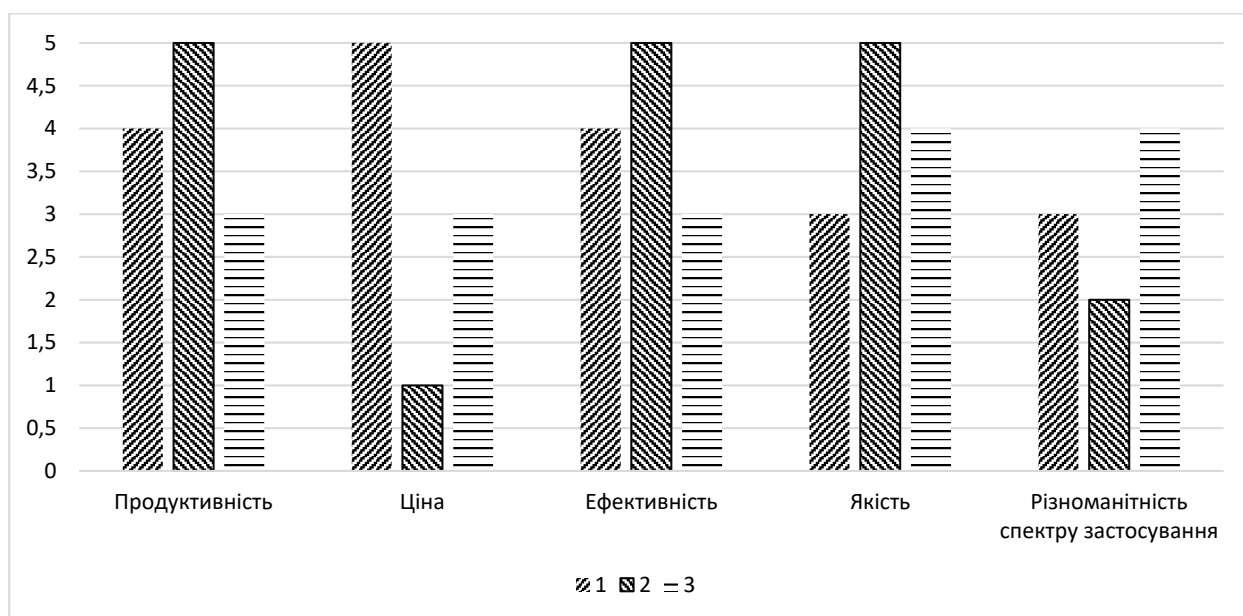


Рис. 5.2 Фактори успіху

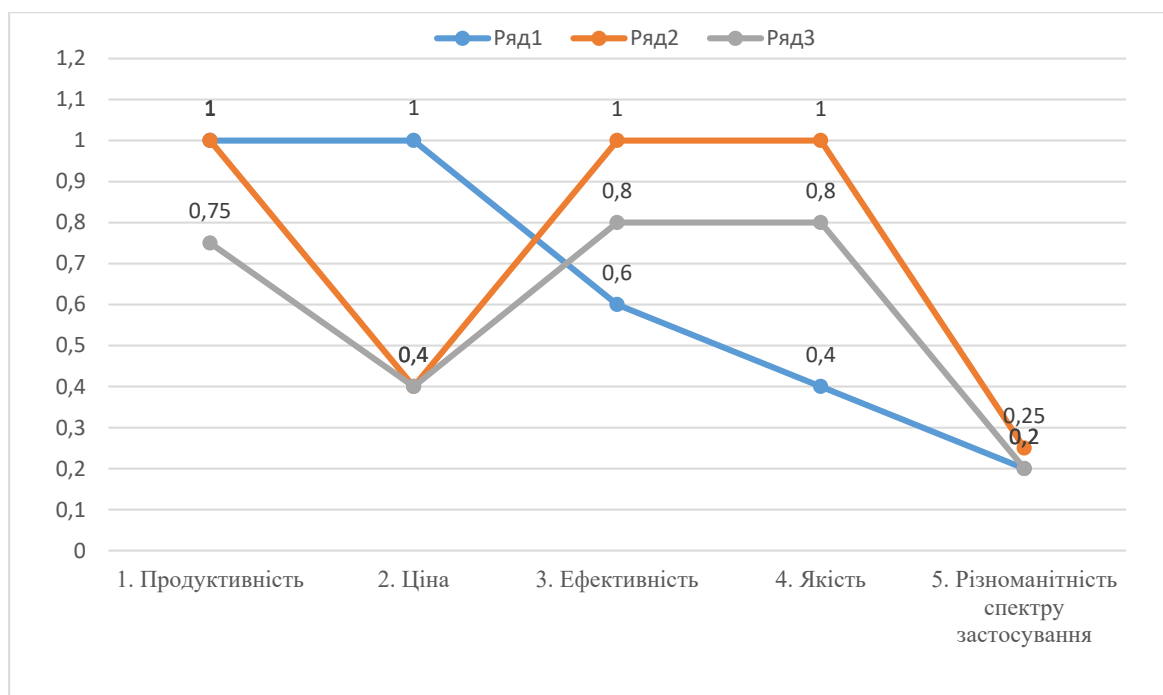


Рис. 5.3 Фактори з врахуванням важливості параметру

Отже, на основі вище наведених даних, ключовим фактором успіху для даного проекту є ефективність дії даного засобу, на яку можна повпливати в ході виробництва препарату.

5.6. Анкета споживачів для визначення їх бачення запропонованої інновації

Вкажіть, будь ласка інформацію про себе:

Стать _____

Вік _____

Місцезнаходження _____

Освіта _____

Будь ласка, вкажіть всі відповіді.

1. Ви віддаєте перевагу продукції:

А) Вітчизняного виробництва

Б) Імпортного виробництва

В) Важко відповісти

2. Скільки Ви витрачаєте в середньому в рік на харчові добавки?

А) до 100 грн

Б) 100-200 грн

В) більше 200 грн

3. Чи проведено необхідні випробування продукції для перевірки відповідності вимогам потенційного ринку?

А) Так

Б) Ні

В) Частково

4. Продуктивність по вихідному продукту?

5. Безперервне виробництво?

А. Так

В. Ні

6. Чи зможете Ви виконати майбутні зовнішні замовлення з урахуванням виробничих потужностей та завантаженості підприємства?

А) Так

Б) Ні

7. Чи існує на підприємстві система, яка може гарантувати необхідний рівень якості і безпеки продукції для зовнішніх ринків?

А) Так

Б) Ні

8. Який фактор є для Вас визначальним при виборі?

А) Бренд

Б) Ціна

В) Країна походження

Г) Реклама

Дякуємо за Ваші відповіді!

5.7. Оцінка ринкових позицій інноваційної розробки

Договір N 55678

на виконання науково-дослідних робіт

м. Київ

"17" листопада 2018 року

1. Предмет договору

1.1. Замовник доручає, а Виконавець бере на себе зобов'язання провести за завданням Замовника наукові дослідження: Переробка рослинної сировини в УЗ установці

а Замовник зобов'язується прийняти виконану роботу та оплатити її.

1.2. Наукові, економічні та інші вимоги до науково-дослідної продукції, яка є результатом виконання предмета цього Договору, викладені у Технічному завданні на науково-дослідну роботу (додаток 1), що є невід'ємною частиною цього Договору.

1.3. Використання результатів науково-дослідної роботи Виконавцем може провадитись лише за письмовим погодженням Замовника. Використовуючи результати науково-дослідної роботи Виконавець зобов'язаний зазначити, що робота виконувалась за рахунок коштів Державного бюджету України.

2. Вартість робіт та порядок розрахунків

2.1. Ціна Договору на виконання науково-дослідної роботи, становить 200 000 грн. Операція звільнена від оподаткування відповідно до підпункту 5.1.22 пункту 5.1 статті 5 Закону України "Про податок на додану вартість".

2.2. Джерело фінансування - Державний бюджет України на 2018 рік.

2.3. Ціну договору та обсяг виконуваних робіт може бути змінено залежно від реального фінансування видатків з Державного бюджету України..

3. Порядок та строки здавання і приймання робіт

3.1. Перелік наукової, технічної та іншої документації, що підлягає оформленню та здаванню Виконавцем Замовнику на окремих етапах виконання і по закінченню договору, визначається технічним завданням, що є частиною договору (додаток).

3.2. Виконання проміжних етапів оформлюється Виконавцем актами здачі-приймання, які направляються Замовнику відповідно до календарного плану.

3.3. При завершенні робіт Виконавець подає Замовнику акт здачі-приймання наукової продукції з додаванням до нього комплексу наукової, технічної та іншої документації, передбаченої технічним завданням та умовами договору.

3.4. Замовник протягом 5 робочих днів з дня отримання акту здачі-приймання робіт та звітних документів, зазначених у п. 3.3 цього договору, зобов'язаний надіслати Виконавцю підписаний акт здачі-приймання наукової продукції або мотивовану відмову від приймання робіт.

3.6. У разі дострокового виконання робіт Замовник має право достроково прийняти та оплатити їх за ціною, що вказана в договорі.

3.7. Якщо в процесі виконання роботи з'ясується недоцільність подальшого її проведення, Виконавець повинен призупинити роботу та повідомити про це Замовника протягом 5 робочих днів після її призупинення. Після повідомлення сторони повинні протягом 10 днів розглянути питання про доцільність продовження роботи. Відповідне рішення оформлюється Протоколом сторін.

4. Відповідальність сторін

4.1. За невиконання або неналежне виконання зобов'язань за цим договором Виконавець та Замовник несуть відповідальність згідно з чинним законодавством.

4.2. В разі виникнення форс-мажорних обставин Замовник зобов'язаний надіслати письмове повідомлення виконавцю не пізніше 15 днів з моменту їх виникнення.

4.3. Науково-дослідна робота виконується за відкритим планом, без обмежуючих грифів.

4.4. Якщо відповідний спір не можливо вирішити шляхом переговорів, він вирішується у Господарському суді.

5. Інші умови

5.1. За згодою сторін зміст пунктів технічного завдання, термін дії Договору або етапів Календарного плану, а також вартість робіт за договором (в тому числі при несвоєчасному отриманні Виконавцем фінансування на виконання цієї роботи) можуть бути змінені в процесі виконання роботи, що оформлюється додатковою угодою, яка є невід'ємною частиною Договору. Внесення змін до калькуляції кошторисної вартості проводиться за 30 днів до початку наступного етапу на підставі додаткової угоди до цього Договору.

5.2. Інші умови за розсудом сторін

6. Термін дії договору та юридичні адреси сторін

6.1. Цей Договір вважається укладеним і набирає чинності з моменту його підписання Сторонами і діє до «31» грудня 2018 року, а в частині розрахунків - до повного виконання Сторонами своїх зобов'язань відповідно до умов цього Договору..

5.7.1 Технічне завдання

Додаток 1

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання робіт

Від Бокова Т.В.

Від Іванова І.І.

Старший інженер

Науковий керівник Петров П.П.

Київ - 2018

1. Загальні положення: *Модернізація лінії виробництва лимонної кислоти*

1.1. Замовник: Боков Т.В.

1.2. Головний виконавець: Іванов І.І.

1.3. Співвиконавці: Петров П.П.

1.4. Комплексний тематичний план науково-дослідних робіт, що фінансуються за рахунок коштів загального фонду Державного бюджету, на 2018 рік.

1.5. Плановий початок робіт 17.10.2018, планове закінчення робіт 17.12.2018.

2. Основні наукові та нормативні вимоги до виконання науково-дослідної роботи

2.1 Вимоги до рівня проведення досліджень: Рівень досліджень, що будуть проводитися, відповідатиме світовим та вітчизняним вимогам для цього наукового напрямку, що буде підтверджено публікаціями у провідних фахових виданнях.

2.2 Вимоги до якості наукової продукції, створеної при проведенні науково-дослідної роботи. Якість результатів досліджень, що будуть проводитися, відповідатиме світовим та вітчизняним вимогам для цього напрямку, що буде підтверджено контрольними вимірюваннями у незалежних лабораторіях.

2.3 Вимоги до форми представлення результатів досліджень, декларування створюваної наукової продукції про відповідність її чинним нормативним документам України. Результати наукових досліджень роботи будуть представлені у формі заключного звіту.

3. Призначення та мета створення науково-дослідної продукції

3.1 *Об'єкт дослідження або розроблення:* Випарний апарат з виносною гріючою камерою.

3.2 *Мета роботи:* Створення прототипу випарного апарату з виносною гріючою камерою – якісно нового апарату для інтенсифікації процесу випарювання концентрованого розчину лимонної кислоти.

4.Склад та етапи виконання роботи

Таблиця 5.7 Етапи виконання науково- дослідної роботи

N	Назва роботи (етапу)	Очікувані результати за етапами	Термін виконання		Звітні документи та наукова продукція, що підлягають здачі замовнику в кінці етапу
			Початок	Кінець	
1	Розробка концепції прототипу теплообмінника пластинчастого	Концепції прототипу випарного апарату	17.10.2018	10.12.2018	Проміжний звіт
2	Математичні розрахунки	Отримані результати	21.11.2018	28.11.2018	
3	Комп'ютерна візуалізація проекту	3D модель	29.11.2018	01.12.2018	Проміжний звіт
4	Створення прототипу теплообмінника пластинчастого	Прототип теплообмінника пластинчастий	01.12.2018	03.12.2018	
5	Випробування на реальній конструкції	Отримані результати	04.12.2018	09.12.2018	Кінцевий звіт

5. Перелік наукової та іншої документації, що надається по закінченню роботи:

- проміжні звіти за етапами та заключний звіт з теми;
- Довідка про оцінку науково-технічного рівня результатів НДР;
- Довідка про виконання вимог чинних державних стандартів;
- Акт прийняття закінченої НДР.

6. Порядок розгляду та приймання науково-дослідної роботи Робота приймається поетапно і в цілому по завершенні.

5.8. Джерела фінансування НДР

Для впровадження нової лінії випуску продукції або переобладнання старої лінії випуску суміжної продукції використовувати власні кошти фізичної особи засновника.

Також планується взяти кредит у банку під 12% річних на термін до шести років у розмірі 6 600 000 грн в банку. Джерелом виплат кредиту і відсотків за кредитом буде прибуток від діяльності. Щорічно планується покривати 1 650 000 грн за кредитом.

Таблиця 5.8 – Графік погашення кредиту

Рік	Сплата за кредитом, грн	0, грн
1	1650000	5742000
2	1650000	4878100
3	1650000	3813500
4	1650000	2617200
5	1650000	1281200
6	1281200	0

Отже, при запланованому темпі виплат за кредитом, кредит буде погашено за неповних 6 років. Всього буде сплачено 9 531 200 грн.

5.9. Розрахунок ціни інноваційної розробки

1) Витратний метод (на одиницю продукції)

$$Ц = C + \%П = 62,45 + 1,87 = 64,32 \text{ грн.}$$

2) Агрегатний

$$Ц = Ц_1 + Ц_2 + Ц_3$$

Даний метод не підходить для обрахунків, оскільки складно виділити цілі частини.

3) Параметричний метод не підходить для обрахунків, оскільки йдеться про введення принципово нової продукції, а не удосконалення старої.

4) Метод точки беззбитковості:

$$Ц=C,$$

$$Ц \cdot B = A + O\phi \cdot B,$$

$$Ц = \frac{A + O\phi \cdot B + \Phi O П}{B} = \frac{538\,333 + 2\,500\,000 + 3\,777\,120}{200\,000} = 34,08 \frac{\text{грн}}{\text{од}}$$

$Ц = 34,08$ грн/кг, при плановому річному випуску. Для встановленої ціни в 45 грн точка беззбитковості складе :

$$B = 151\,500 \text{ кг.}$$

Конкурентний метод: ціна одиниці продукції лідера ринку складає 65 грн. Для власної продукції пропонується менша ціна – 50 грн/кг., що є меншою за ринкову ціну, але дає достатньо прибутку для погашення кредиту.

5.10. Техніко-економічні показники

Таблиця 5.9 – Основні фонди підприємства

Найменування	Початкова вартість, грн	Термін експлуатації, років
Обладнання	2 000 000	5
Будівлі і споруди	2 000 000	15
Нематеріальні активи (ліцензія на 5 років)	25 000	5
Σ	4 025 000	

Тоді амортизаційні відрахування на рік становитимуть:

$$A = \frac{O\Phi}{T} = \frac{2\,000\,000}{5} + \frac{2\,000\,000}{15} + \frac{25\,000}{5} = 538\,333 \text{ грн}$$

Таблиця 5.10 – Річна заробітна плата

Посада	Чисельність	Заробітна плата, грн/міс.
Директор	1	12 000
Головні спеціалісти: головний інженер, головний бухгалтер головний енергетик головний технолог	1 1 1 1	8500
Всього:	4	
Керівники структурних підрозділів: керівник виробничого цеху начальник складового приміщення керівник відділу підготовки сировини керівник контролю якості Всього	2 1 1 1 5	7800
Фахівці з вищою освітою: інженер-технолог, інженер-механік Всього	5 5 10	6300
Робітники і фахівці з середньою освітою: вантажники, прибиральники	20	5500

$$ЗП = (12000 + 8500 \cdot 4 + 7800 \cdot 5 + 6300 \cdot 10 + 5500 \cdot 20) \cdot 12 = 3\,096\,000 \text{ грн/рік}$$

$$ФОП = 1,22 \cdot 3\,096\,000 = 3\,777\,120 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 5.11 Графік змінності адміністративного персоналу

Посада	День тижня						
	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд
Директор	1	1	1	1	1	В	В
Заступник директора	1	1	1	1	1	В	В
Головний бухгалтер	1	1	1	1	1	В	В
Менеджер персоналу ³	1	1	1	1	1	В	В
Головний інженер	1	1	1	1	1	В	В

Таблиця 5.12 – Оборотні фонди підприємства

Статті калькуляції	Сума, грн/рік
Живильне середовище	1 300 000
Їдкий натр	200 000
Електропостачання	590 000
Миючі та дезінфікуючі засоби	100 000
Вода	200 000
Витрати на запасні частини	110 000
Σ	2 500 000

ОбФ = 2 500 000 грн/рік

Собівартість:

$$C = A + \text{ОбФ} + \text{ФОП} = 538333 + 2500000 + 3\,777\,120 = 6815453 \text{ грн/рік}$$

Ціна одиниці продукції становить 45 грн, тоді річний прибуток підприємства:

$$\Pi = \Pi - C = 45 \cdot 200\,000 - 6815453 = 3\,184\,547 \text{ грн/рік}$$

Із врахуванням податку на прибуток (18%), прибуток складає:

$$\Pi = 0,82 \cdot 3184547 = 2\,611\,328 \text{ грн/рік}$$

Рентабельність підприємства:

$$P = \frac{\Pi}{C} = \frac{2611328}{6815453} \cdot 100\% = 3,8\%$$

Капіталовкладення:

$$K = \text{ОФ} + \text{ОбЗ} = 4025000 + 2500000 + 3777120 = 10\,302\,120 \text{ грн}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов}} = \frac{K}{\Pi} = \frac{1030212000}{2611328} = 3,94 \text{ роки}$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{1}{T_{\text{пов}}} = \frac{1}{3,94} = 0,25$$

5.11. Оцінка ризиків та страхування розробки

У дійсному розділі визначені найбільш імовірні ризики, які можуть виникнути при реалізації даного проекту. Оцінити ризики підприємницької діяльності можна на основі класифікації можливих ризиків.

Таблиця 5.13 – Оцінка ризиків

Ризик	Коефіцієнт впливу на дохід
1. Комерційні ризики:	
- конкуренти з нижчою ціною	0,93
- відсутність інформації про підприємство	0,95
- необхідність створення системи знижок	1,0
- виникнення дефекту товару в дорозі	1,0
- страхові витрати	0,99
2. Організаційні ризики:	
- складність із забезпеченням робочої групи кадрами необхідної кваліфікації	0,99
- проблеми своєчасного постачання матеріально-технічних ресурсів	0,99
- проблеми з організацією збутової мережі	0,95
- внутрішньовиробнича неритмічність процесів	0,98
3. Технічні ризики:	
- необхідність конструкторського доопрацювання елементів обладнання в процесі виробництва	0,99
- необхідність доопрацювання в процесі виробництва технології виготовлення продукції	0,99
- рекламацию на продану продукції з причини неякісного комплектування	0,99
4. Фінансові ризики: інфляція	0,98
Інші види ризиків	0,9

Таблиця 5.14 – Заходи для усунення ризиків

Група ризиків	Заходи щодо усунення або попередження
Комерційні	Впровадження періодичних (сезонних, акційних тощо) знижок на продукцію
	Створення більш вигідних умов дилерам у разі тривалої співпраці
	Забезпечення жорсткого контролю якості
	Пошук більш дешевих або вигідних постачальників сировини
Організаційні	Зацікавлення кваліфікованих робітників зарплатнею, умовами праці та соціальним забезпеченням
	Створення запасів сировини та матеріалів
	Створення запасу готової продукції на складі
	Чітке дотримання режимів роботи устаткування
	Своєчасне забезпечення посередників продукцією підприємства
	Ретельний підхід по проектування виробництва
Технічні	Придбання обладнання, яке максимально задовольняє потреби виробництва з урахуванням розширення підприємства
	Забезпечення правильного монтажу обладнання
	Своєчасна заміна швидкозношуваних деталей обладнання
	Планові ремонти обладнання
	Закладання прогнозованого росту інфляції у фінансово-економічні розрахунки;
Фінансові	Чітко прописані умови укладання кредитного договору
	Страхування майна
Інші	

Щодо страхування, на підприємстві планується здійснити такі види страхування:

1. Договір на поставку сировини постачальниками
2. Договір на доставку продукції замовникам
3. Власного виробництва від впливу різних несприятливих факторів (пожежа, відключення електроенергії і ін.)
4. Різні соціальні страхування співробітників підприємства.

ВИСНОВКИ

В проекті було розглянуто один із процесів одержання лимонної кислоти. Виконані основні задачі проведення дослідження: методів кристалізації лимонної кислоти, вивчення впливу ультразвукових коливань на процес кристалізації, опис методики проведення досліду, проведення експеримент по впливу ультразвукових коливань, аналіз даних, висновки по проведеному експерименту.

Застосування ультразвукового впливу з частотою коливань близько 36 кГц дозволяє різко інтенсифікувати процес, оскільки в кавітаційному режимі виникають сильні мікро- та макропотоки, що знімають дифузійні обмеження. Застосування ультразвукового впливу дозволяє поліпшити осьову однорідність розподілу домішок і компонентів за рахунок інтенсифікації тепло- і масообмінних процесів. Прискорення кристалізації здійснюється за рахунок розчинення дрібних кристалів. пришвидшує процес утворення центрів кристалізації з 5-8 год до декількох секунд.

В роботі запропонована модернізація стадії кристалізації за рахунок впровадження проточного ультразвукового процесора в циркуляційному контурі кристалізатора. Після охолодження розчину лимонної кислоти до 37°C його подають по замкнутому контуру з кристалізатором, під первинну обробку ультразвуком, для пришвидшення процесу утворення центрів кристалізації. Та вторинну обробку ультразвуком після охолодження до 20°C.

Було розроблено кристалізатор, як основний апарат для забезпечення процесу отримання лимонної кислоти. У роботі приведені параметричні і теплові розрахунки, а також розрахунки на міцність, які підтверджують працездатність та надійність апарату. Проведені попередні випробування виконаних, системі SolidWorks для аналізу механічних впливів, підтверджують придатність перевірочні-конструкторських розрахунків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Бергман, Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман. М.: Наука, 1957. - 576 с.
2. Брагинская, Ф. И. Действие ультразвуковых волн на полифосфаты и нуклеиновые кислоты и их комплексы: дис. канд. хим. наук.-М., 1965.-193 с : дис. – Брагинская ФИ–М., 1965.–193 с, 1965.
3. Рахманкулов, Д. Л. Микроволновое излучение и интенсификация химических процессов / Рахманкулов Д.Л., Бикбулатов И. Х., Шулаев Н. С. Шавшукова С. Ю. -М.: Химия, 2003.- 219 с.
4. Финогенова, Т. В. Перспективы производства органических кислот дрожжами *Yarrowia lipolytica* (Обзор) / Т.В. Финогенова, Прикладная биохимия и микробиология. – 2005. – Т. 41. – №. 5. – С. 478-486.
5. Авчиева, П.Б. Получение дрожжей *Candida lipolytica* – активных продуцентов лимонной кислоты // П.Б. Авчиева, А.Ю. Винаров- Микробиология. 1993. Т. 62. В. 2. С. 243-248.
6. Агаджанян, А.Е. Способ получения лимонной кислоты из растворов щелочных цитратов / Е.Н. Арзуманов, В.А. Самойленко, Р.А. Мовсесян, Т.В. Финогенова, Д.Г. Хачанов. 2000. Авторское свидетельство RU (11) 96119371.
7. Ажгихин, И. С. Избранные лекции по курсу технологии лекарств заводского производства: для слушателей факультета повышения квалификации провизоров и преподавателей фармацевтических ин - тов. [Ч.2] / И. С. Ажгихин, В. Г. Гандель; под. ред. И. С. Ажгихина , 1972. – 190 с.
8. Алехин, О. С. Способ управления процессом кристаллизации / О. С. Алехин, А. П. Бобров, В. И. Герасимов, В. И. Зарембо, К. В. Некрасов, П. М Саргаев, К. А. Суворов, Патент РФ No 2137572. (12.29. 1998).
9. Гельперин, Н.И. Основы техники кристаллизации расплавов / Н. И. Гельперин, Г. А. Носов. — М.: Химия, 1975. - 352 с.
10. Гельперин, Н.И. Основы техники фракционной кристаллизации / Н.И. Гельперин, Г.А. Носов. - М.: Химия, 1986. - 304 с.

11. Кидалов, В. Н. Постоянство непостоянного в тизограммах препаратов крови (к стандартизации исследований кристаллизации биологических жидкостей)/ В. Н. Кидалов, А.А. Хадарцев, Ш.М. Багаутдинов, А.В. Чечеткин [Вестник новых медицинских технологий] — М.: 2008. Т. XV. № 4. С. 7-12.
12. Кидалов, В. Н. Жидкокристаллические свойства крови и возможности применения в нетрадиционных медицинских исследованиях/ В. Н. Кидалов, А.А. Хадарцев, Н. И. Сясин, Г. Н. Якушина. Вестник новых медицинских технологий . 2001. Т . IX. No 2. С . 25-27.
13. Майстренко, Е. М. Кристаллографические и кристаллоскопические исследования в комплексной диагностике и оценке результатов лечения заболеваний слюнных желез/ Е. М. Майстренко, автореф. дис. канд. мед. наук. Пермь, 2003. 27 с .
14. Маллин, Д. У. Кристаллизация / Д. У. Маллин М.: Металлургия, 1965. - 342 с
15. Матусевич, Л.Н. Кристаллизация из растворов в химической промышленности / Л.Н. Матусевич — М.: Химия, 1968. — 304 с.
16. Минц, Р. И. Мезофазы в организме человека / Р. И. Минц, Е. В. Кононенко — Архив патологии. 1981. Т . 43. No 7. С . 3-12
17. Муравьев, И. А. К изучению процесса ремацерации солодкового корня, заготовленного от солодки уральской [Лекарственные и сырьевые ресурсы Иркутской области] / И. А. Муравьев, В. А. Маняк. — Иркутск, 1968. — Вып. 5. — С. 130 – 134.
18. Корольков, П. Н. Перколяционный гидролиз растительного сырья / П. Н. Корольков. — Москва : Лесная промышленность, 1968. — С. 36 – 38.
19. Пшуков, Ю. Г. Влияние ультразвука на коэффициент диффузии глицирризиновой кислоты и экстрактивных веществ в корне солодки гладкой [Материалы Всес . науч . конф . по совершенствованию производства лекарств и галеновых препаратов.] / Ю. Г. Пшуков, В. Д. Пономарев — Ташкент, 1969. — С. 184 – 186.

20. Чашечкин, Ю. Д. Природа формирования структур в неоднородных жидкостях [Морфология биологических жидкостей в диагностике и контроле эффективности лечения] / Ю. Д. Чашечкин Сб. науч. тр. М., 2001. С. 5-7
21. Чуешова, В.И. Промышленная технология лекарств. [В 2 т. Т. 2] / Под. ред. В.И. Чуешова. — Х., 1999;
22. Schulz, O.E. Gesetzmässigkeit der Mazeration und Percolation 1 / O.E. Schulz, J. Klotz // Grundlagen der galenische Pharmazie. Arzneimittel-Forsch. – 1953. – S. 471 – 478.
23. Schulz, O.E. Versuche zur Verbessern von Extraktionsausbeuten / O.E. Schulz, J. Klotz // Grundlagen der galenische Pharmazie. Arzneimittel-Forsch. – 1954. – S. 325 – 327.
24. Schulz, O.E. Gesetzmässigkeit der Mazeration und Percolation 2 / O.E. Schulz, J. Klotz // Grundlagen der galenische Pharmazie. Arzneimittel-Forsch. – 1953. – S. 529 – 530.
25. Müller, R.H. Pharmaceutische Technologie – Moderne Arzneiformen / R.H. Müller, G.E. Hildebrand. – Stuttgart: Wiss. Verlagsgesellschaft, 1998. – 94 s.
26. Стабников, В. Н. и др. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств / Под ред. В.Н. Стабникова– К.: Вища школа, 1982. – 199с.
27. Лацинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов / А.А. Лацинский – Л.: Машиностроение, 1981. – 139, 275с.
28. Иоффе, И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии/ И.Л. Иоффе, – Л.: Химия, 1991. – 352с.
29. Кондаков, Л. А. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / Л. А. Кондаков, А. И. Голубев, В. Б. Овандер/ Под общ. ред. А. И. Голубева, Л. А. Кондакова.-М.: Машиностроение, 1986.-464 с.
30. Никольский, Б.П. Справочник химика / Б.П. Никольский — Л.: «Химия», 1966 – 976 с. Библиогр.: с. 972 – 976.

- 31.Коваленко, І.В. Розрахунки основних процесів, машин та апаратів хімічних виробництв / І.В. Коваленко, В.В. Малиновський, К.: Норіта-плюс, 2007 – 209 с.
- 32.Соколов, В.И. Основы расчета и конструирования деталей и узлов пищевого оборудования // [Учебное пособие для вузов. Изд. 2–е., перераб. и доп.] / В.И. Соколов, МГУ – М.: Машиностроение, 1970 – 425 с. Библиогр.: с. 418 – 425.
- 33.Романков, П.Г. Гидравлические процессы химической технологии / П.Г. Романков, М.—Л.: Госхимиздат, 1948 – 121 с. Библиогр.: с. 120 – 121.
- 34.Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. [Изд. 5–е] / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков, М.: «Химия», 1968 – 852с. Библиогр.: с. 840 – 852.
- 35.Батунер, Л.М. Процессы и аппараты органического синтеза и биохимической технологии / Л.М. Батунер, ЛЭТИ М.—Л., 1966 – 520 с. Библиогр.: с. 485 – 520.
- 36.Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин, МГУ – М.: «Химия», 1973 – 752 с. Библиогр.: с. 750 – 752.
- 37.Лашинский, А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. [Изд. 2–е]/ А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский, ЛЭТИ – Л.: «Машиностроение», 1970 – 653 с. Библиогр.: с. 652 – 653.
- 38.Иванова, Л.А. Пищевая биотехнология. Кн. 2. Переработка растительного сырья / Л.А. Иванова, Л.И. Войно, – М.: КолосС, 2008. – 472
- 39.ГОСТ Р 51074-2003. Продукты пищевые. - М.: Изд-во станд., 2003.
- 40.ГОСТ 14249-89 «Сосуды и аппараты. Нормы методы расчета на прочность»
- 41.Стабников, В.Н. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств / Под ред. В. Н. Стабникова . – Киев: Вища школа . Головное изд-во , 1982. – 199 с.
- 42.Хмелёв В.Н., Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве/В.Н. Хмелёв, О.В. Попова, - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. - 160 с

Творчий доробок 2017-2018 н.р.

1. Сорокін, Е.Г. ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРОЗВУКУ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ // «Біотехнологія ХХІ століття»: тези доповідей ХІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю з дня народження Артура Корнберга, Київ, 20 квітня 2018 р. – Секція 4 «Біотехніка».-с.152
2. Сорокін, Е.Г.,. БЕЗПЕРЕРВНА СТЕРИЛІЗАЦІЯ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ В БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА ФАРМАЦІЇ / Е.Г. Сорокін, В.М Поводзинський // «Біотехнологія ХХІ століття»: тези доповідей ХІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю з дня народження Артура Корнберга, Київ, 20 квітня 2018 р. – Секція 4 «Біотехніка».-с.151.
3. Сорокін, Е. Г. ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКУ НА ПРОЦЕС КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЛИМОННОЇ КИСЛОТИ / В. М.Мельник, Л. І. Ружинська, Е.Г. Сорокін// Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". — 2018. — №21.
<https://doi.org/10.25313/2520-2057-2018-21-4485>

**Міністерство освіти і науки України
Інститут модернізації змісту освіти
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Національна академія наук України
Інститут клітинної біотехнології та генетичної інженерії**

БІОТЕХНОЛОГІЯ ХХІ СТОЛІТТЯ



**Матеріали
XII Всеукраїнської науково-практичної конференції
«Біотехнологія ХХІ століття»
присвяченої 100-річчю з дня народження Артура Корнберга
(для студентів, аспірантів і молодих вчених)**

20 квітня 2018 року



Київ-2018

УДК 664.8/9.66.04.602.614

**БЕЗПЕРЕРВНА СТЕРИЛІЗАЦІЯ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ В
БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА ФАРМАЦІЇ**

Сорокін Є.І., Пондирівський В.М.

КПІ ім. Ізора Сікорського

пр. Перемоги 37, Київ, 03056

Cityran1996@gmail.com

Біотехнологічні виробництва біологічно-активних речовин при використанні рідких поживних середовищ потребують ефективно працюючого обладнання на стадії стерилізації. Типовим оснащенням даної стадії для велико-топачних виробництв є використання установок безперервної стерилізації різної продуктивності — 5, 10, 25, 50 м³/год. Ефективність стерилізаційної процедури залежить від досягнення визначеного ефекту по кожній стадії: нагрів у колонії швидкісного нагріву рис 1 позиція К-4, витримувачі Т-5 та блоку охолодження Т-6 і Т-7. При цьому сумарний стерилізаційний ефект на 75-80% залежить від ефективності роботи витримувача. Витримувачі відомі в двох модифікаціях — трубчасті або місткісні. Базовою вимогою яку необхідно забезпечити при конструюванні витримувача є забезпечення поршневого (тубулярного) режиму руху поживного середовища, це означає що гідродинамічні процеси в апараті можуть бути описані математичною моделлю ідеального витіснення.

Дифузійною моделлю є модель витіснення, в якій має місце турбулентність, що викликає конвективну дифузію. Якщо враховується лише дифузія вздовж потоку, модель характеризується одним параметром — коефіцієнтом поздовжнього перемішування D_L , і така модель називається однопараметричною.

У двопараметричній моделі враховується, крім поздовжнього, також радіальне перемішування. Математично дифузійній однопараметричній моделі може відповідати рівняння моделі ідеального витіснення, доповнене членом, що

виражає поздовжню дифузію на основі рівняння Фіка: $\frac{dc}{dt} = -V \frac{dc}{dz} + D_L \frac{d^2c}{dz^2}$;

Для цілей масштабування при дослідному визначенні D_L за допомогою теорії подібності його звичайно записують в складі безрозмірного

комплексу — критерію Пекеле $Pe = \frac{V \cdot d}{D_L}$, де d —

визначальний розмір, в даному випадку діаметр апарату. Цей параметр змінюється від нуля для реактора ідеального змішу ($D_L \rightarrow \infty$) до нескінченності для реактора ідеального витіснення.



Рис. 1. Апаратурно-технологічна
схема безперервної стерилізації.

Технічні науки

УДК 664.1.054

Мельник Вікторія Миколаївна

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри біотехніки та інженерії

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Мельник Виктория Николаевна

доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедры биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

Mel'nick Victoriia

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Head of the Department of Bioengineering and Biotechnics

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Ружинська Людмила Іванівна

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри біотехніки та інженерії

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Ружинская Людмила Ивановна

кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

Ruzhinskaya Lyudmyla

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Bioengineering and Biotechnics
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

Сорокін Едуард Геннадійович

*магістр
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*

Сорокин Эдуард Геннадиевич

*магистр
Национального технического университета Украины
"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"*

Sorokin Eduard

*Master of the
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКУ НА ПРОЦЕС КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЛИМОННОЇ КИСЛОТИ

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ

EFFECT OF ULTRASOUND ON THE PROCESS OF CRYSTALLIZATION OF LEMONIC ACID

Анотація. Наводяться результати лабораторних експериментів по виявленню дії звукового опромінення певної частоти на процес кристалізації лимонної кислоти

Ключові слова: ультразвук, кристалізація, кавітація, лимонна кислота.

Аннотация. Представлены результаты лабораторных исследований влияния ультразвукового излучения определенной частоты на процесс кристаллизации лимонной кислоты

Ключевые слова: ультразвук, кристаллизация, кавитация, лимонная кислота.

Summary. The results of laboratory experiments on detecting the effect of sound irradiation of a certain frequency on the process of crystallization of citric acid are given.

Key words: ultrasound, crystallization, cavitation, citric acid.

Кристалізація — це процес утворення твердої фази в вигляді кристалів з розчинів або розплавів. Охолоджений насичений розчин є нестійким і знаходиться в стані пересичення, що є рушійною силою. Концентрація речовини в розчині стає вище розчинності цієї речовини в даних умовах. При подальшому охолодженні, досягаємо температури, при якій почнеться утворення зародків кристалів, тобто ступінь перенасичення перевищить межу метастабільності [1].

Ультразвук в залежності від режиму ультразвукової обробки, ступеня перенасичення розчину, температурного чинника і т.д. може значно прискорити процес кристалізації неорганічних з'єднань. Прискорення кристалізації здійснюється за рахунок розчинення дрібних кристалів [2].

Для цих же цілей можливе використання диспергуючої дії ультразвуку, який дробить кристали. Останні в свою чергу стають новими центрами кристалізації, знову дробляться і т.д.

Використання ультразвуку пришвидшує процес утворення центрів кристалізації з 5-8 год до декількох секунд. Прискорення процесів кристалізації визначається на стадії кавітації, коли диспергирующий ефект найбільший.

Було проведено дослід по впливу ультразвуку на процес кристалізації.

Об'єктом дослідження була обрана лимонна кислота.

Технічне найменування продукту - лимонна кислота $\text{HOOC-CH}_2\text{C}(\text{OH})-\text{COOH-CH}_2\text{-COOH}$ є монооксітрикарбоною кислотою, яка кристалізується з водних розчинів з однією молекулою води (моногідрат лимонної кислоти) у вигляді безбарвних прозорих ромбоподібних кристалів. Моногідратна лимонна кислота має молекулярну масу 210, щільність $1,540 \text{ г/см}^3$ і температуру плавлення $70-75^\circ\text{C}$. Кристалізаційна вода втрачається при зберіганні та інтенсивно виділяється при температурах, що перевищують $40-50^\circ\text{C}$. При 100°C вода втрачається повністю. Лимонна кислота за якістю має відповідати показниками, передбаченими ГОСТ 908: 2006. Це повинні бути безбарвні кристали або білий порошок, без грудок, для кислоти I сорту допускається жовтуватий відтінок, смак кислий, без стороннього присмаку, 2% -ний розчин кислоти в дистильованій воді повинен не мати запаху, бути прозорим і не містити механічних домішок, структура - сипка, суха, на дотик не липка, без сторонніх домішок. Лимонну кислоту отримують з культуральної рідини при глибинному культивуванні мікроскопічного гриба *Aspergillus niger* з наступним відділенням біомаси [3].

При температурі кристалізації $36,6^\circ\text{C}$ і вище виділяється безводна лимонна кислота з молекулярною масою 192 і температурою плавлення 153°C . При нагріванні до 175°C лимонна кислота розкладається.

Технологія глибинного культивування продуцентів лимонної кислоти представляє собою явно виражений двоступінчастий процес. Перший ступінь включає вирощування посівного матеріалу з конідіоспор в посівному середовищі (на гойдалці і в посівному апараті) при $32-33^\circ\text{C}$ в умовах інтенсивної аерації ($0,8-1,0$ об'єму повітря на 1 об'єм середовища в хвилину) і при безперервному перемешуванні середовища. Тривалість культивування на стадії вирощування посівного матеріалу - 2 доби (1 добу - на качалка, 1 - на посівному апараті) [4].

Кристалізація лимонної кислоти. Охолодження гарячого розчину проводять в кристалізаторі при безперервному перемішуванні. Пересичення, необхідне для утворення центрів кристалізації, досягається при зниженні температури концентрованого розчину. При температурі близько 37°C вносять затравку кристалів лимонної кислоти в кількості 0,05% до маси розчину. Утворення і зростання кристалів відбуваються при зниженні температури до 8°C . При цій температурі утфель, який являє собою суміш кристалів і маточного розчину, витримують протягом 30 хв.

Кавітація - утворення в рідині кавітаційних бульбашок, заповнених газом, паром або їх сумішшю.

Вплив ультразвукової кавітації сприяє кристалізацію і осадження, що забезпечує дуже однорідне змішування. Ультразвукове розчинення є перевіреним способом отримання перенасичених розчинів. Інтенсивне перемішування, і, таким чином, поліпшується перенесення маси. Ультразвукові ударні хвилі сприяють утворенню ядер. Чим більше ядер висівають, тим швидше буде відбуватися зростання кристалів. Як ультразвукова кавітація може точно регулювати процес кристалізації (рис. 1).

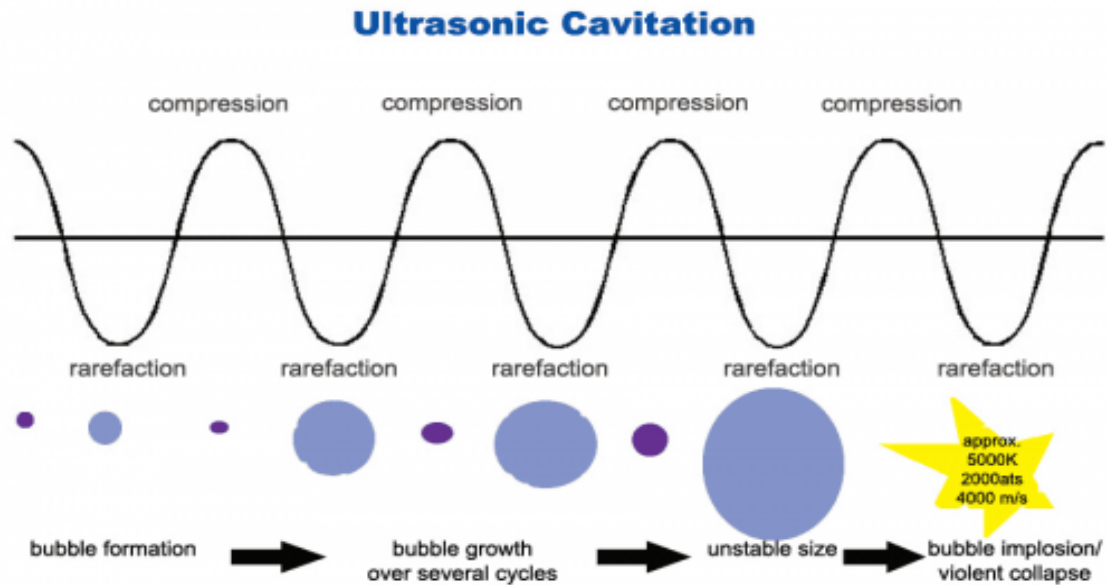


Рис. 1. Кавітація. Процес утворення і руйнування кавітаційних бульбашок

Переваги використання ультразвуку для кристалізації [5]:

- ультразвук ініціює і сприяє утворенню зародків і кристалізації органічних молекул. Контроль над кристалізацією і осадженням, що забезпечує високу якість продукції.
- значно швидший час індукції, з більш низький рівнем перенасиченості, контроль за зростання кристалів.

Ультразвук дозволяє виготовляти кристали з урахуванням всіх вимог. Існує три основні варіанти впливу:

1. Первісний. Коротке застосування ультразвукових хвиль до пересичених розчинів може ініціювати посів та утворення зародків. Як обробка ультразвук застосовується тільки в початковій стадії, наступне зростання кристалів протікають безперешкодно, в результаті чого крупнозернисті кристали.

2. Безперервний. Безперервне опромінення перенасиченого розчину. призводить до зростання багатьох маленьких кристалів.

3. Імпульсний. Імпульсний метод впливу означає застосування ультразвуку в певних інтервалах. Точно контрольований вхід

ультразвукової енергії дозволяє впливати на зростання кристалів, з урахуванням розмір кристала.

Перший дослід було проведено без впливу ультразвуку, для визначення основних критеріїв кристалізації (рис. 2).

Для приготування перенасиченого розчину було взято 100 мг дистильованої води, 220 г лимонної кислоти, термостат, термометр. Колбу з відміряними 100 мг дистильованої води помістили в термостат для нагрівання її до 75°C , поступово додаючи лимонну кислоту з постійним перемішуванням. Після повного розчинення у воді отримали перенасичений розчин лимонної кислоти, та почали охолоджувати колбу з розчином до температури 18°C . Для створення центрів кристалізації внесли 1 г лимонної кислоти.

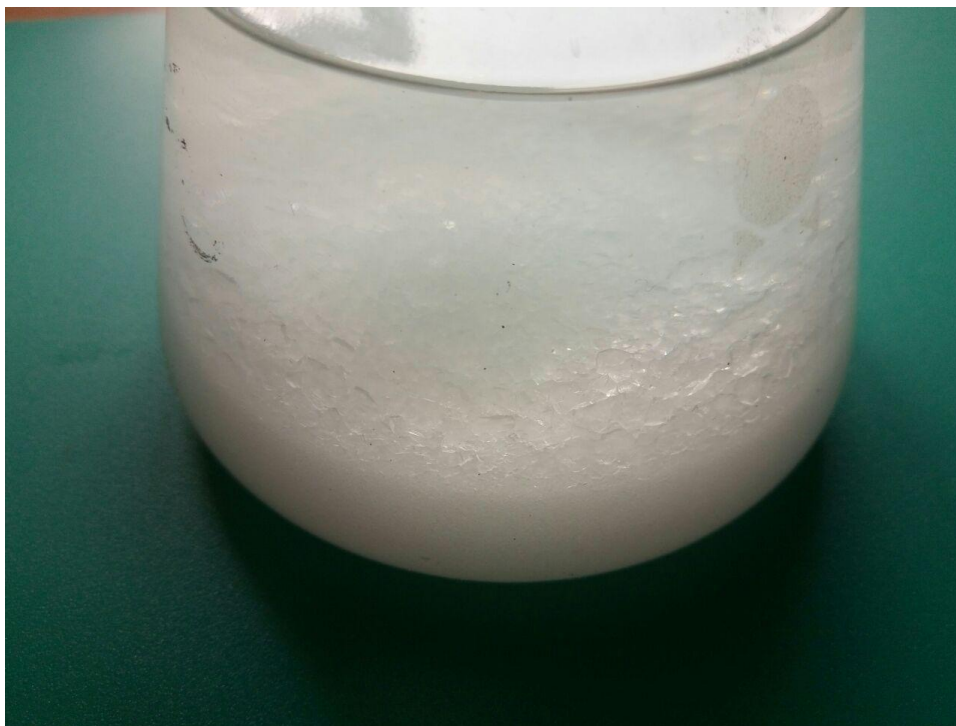


Рис. 2. Результат першого дослід

Осад почав випадати через 10 хв. Розчин помістили в холодильну камеру з температурою 8°C . Через одну годину чітко виділявся шар осаду у вигляді кристалів. В результаті отримали чітко виражені кристали білого кольору, більших розмірів над шаром осаду менших кристалів на дні пробірки.

В наступних зразках перенасичений розчин після охолодження та внесення 1г кристалів лимонної кислоти помістили під дію ультразвуку. Зразок № 1 на 5 хв. (рис. 3). Зразок № 2 на 10 хв. (рис. 4). Після дії ультразвуку розчини помістили в холодильну камеру.



Рис. 3. Зразок № 1



Рис. 4. Зразок № 2

В результаті дослідів в обох зразках спостерігались кристали більших та приблизно однакових розмірів. Також, необхідно відмітити, в зразку № 2 (рис. 4), що піддавався впливу ультразвуку на 10 хв, кристалізація почалася по всьому об'єму, про що свідчать кристали на стінках пробірки.

Застосування ультразвукового впливу з частотою коливань близько 20 кГц дозволяє різко інтенсифікувати процес, оскільки в кавітаційному режимі виникають сильні мікро- та макропотоки, що знімають дифузійні обмеження. Застосування ультразвукового впливу дозволяє поліпшити осьову однорідність розподілу домішок і компонентів сплаву за рахунок інтенсифікації тепло- і масообмінних процесів. Ультразвукова обробка в процесі кристалізації дозволяє отримати однорідний, безпористий матеріал з дрібнозернистою структурою.

Література

1. Деркач Ф. А. Хімія. — Львів : Львівський університет, 1968. — 312 с.

2. Алехин, О. С. Способ управления процессом кристаллизации / О. С. Алехин, А. П. Бобров, В. И. Герасимов, В. И. Зарембо, К. В. Некрасов, П. М. Саргаев, К. А. Суворов, Патент РФ No 2137572. (12.29. 1998).
3. Браже, Р. А. Концепции современного естествознания. Часть 2 [Учебн. пособ.] / Р. А. Браже, Р. М. Мефтахутдинов, Ульяновск: Ульяновский гос. техн . ун - т , 2003. - 130 с.
4. Гельперин, Н.И. Основы техники кристаллизации расплавов / Н. И. Гельперин, Г. А. Носов. — М.: Химия, 1975. - 352 с.
5. Гельперин, Н.И. Основы техники фракционной кристаллизации / Н.И. Гельперин, Г.А. Носов. - М.: Химия, 1986. - 304 с.

ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

Сорокін Е. Г.

КПІ ім. Ігоря Сікорського
пр. Перемоги 37, Київ, 03056
Cimyran1996@gmail.com

Кристалізація - це процес утворення твердої фази в вигляді кристалів з розчинів або розплавів. Охолоджений насичений розчин є нестійким і знаходиться в стані пересичення, що є рушійною силою. Концентрація речовини в розчині стає вище розчинності цієї речовини в даних умовах. При подальшому охолодженні, досягаємо температури, при якій почнеться утворення зародків кристалів, тобто ступінь перенасичення перевищить межу метастабільності.

Отримання чистих лікарських речовин пов'язано з методами багаторазової кристалізації і перекристалізації у розчинниках. Ультразвук в залежності від режиму ультразвукової обробки, ступеня перенасичення розчину, температурного чинника і т.д. може значно прискорити процес кристалізації неорганічних з'єднань. Прискорення кристалізації здійснюється за рахунок розчинення дрібних кристалів.

Для цих же цілей можливе використання диспергуючої дії ультразвуку, який дробить кристали. Останні в свою чергу стають новими центрами кристалізації, знову дробляться і т.д. Так, при кристалізації переохолоджених розплавів деяких речовин, що використовуються в хіміко-фармацевтичній промисловості (хлориду амонію, сірки, тимола, L – лізину).

Використання ультразвуку пришвидшує процес утворення центрів кристалізації з 5-8 год до декількох секунд. Прискорення процесів кристалізації визначається на стадії кавітації, коли диспергирующий ефект найбільший.

Застосування ультразвукового впливу з частотою коливань близько 20 кГц дозволяє різко інтенсифікувати процес, оскільки в кавітаційному режимі виникають сильні мікро- та макропотоки, що знімають дифузійні обмеження. Застосування ультразвукового впливу дозволяє поліпшити осьову однорідність розподілу домішок і компонентів сплаву за рахунок інтенсифікації тепло- і масообмінних процесів. Ультразвукова обробка в процесі кристалізації дозволяє отримати однорідний, безпористий матеріал з дрібнозернистою структурою. [1]

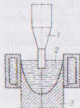
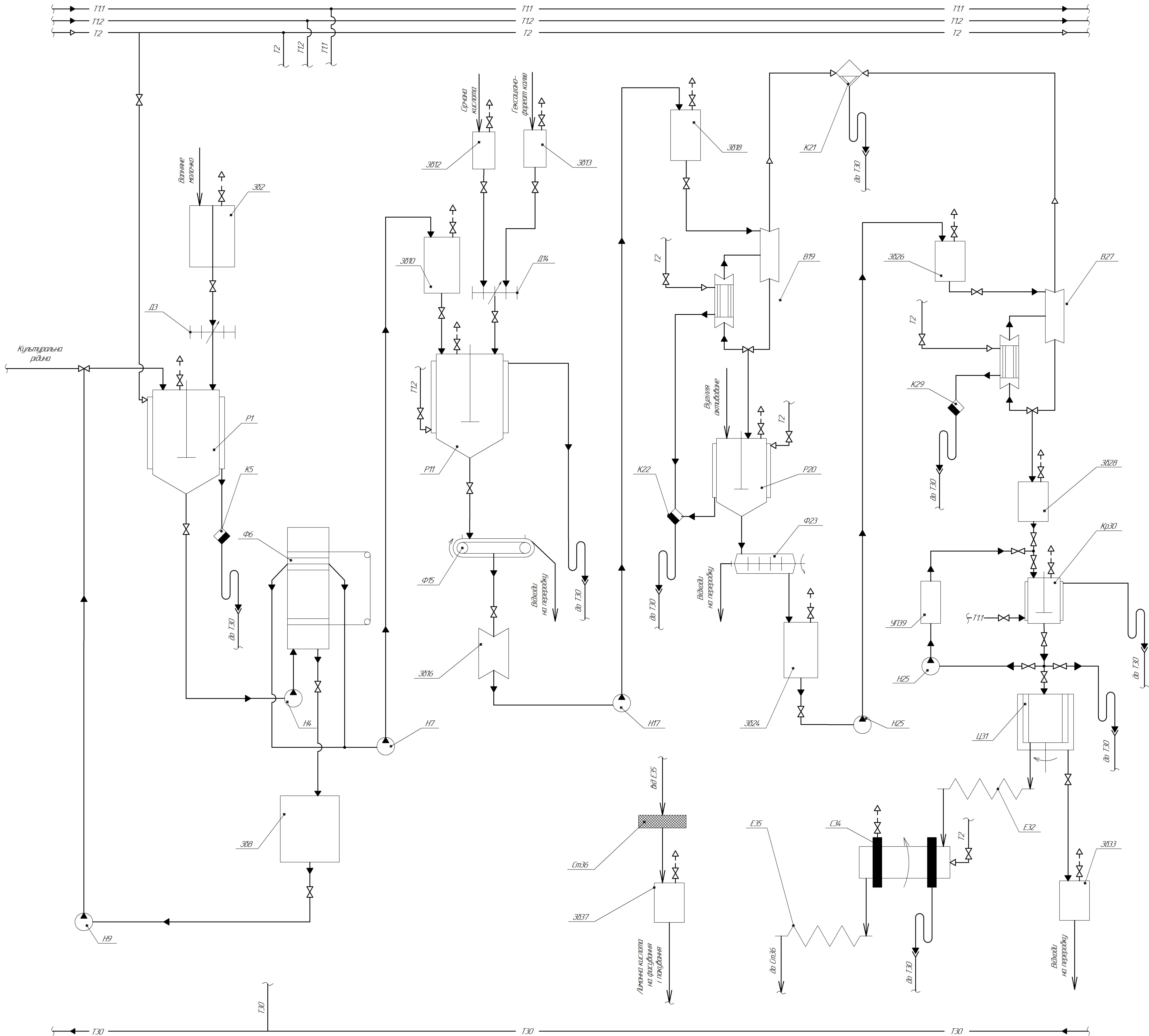


Рис. 1. Схема ультразвукової кристалізації: 1 - джерело ультразвуку; 2 - розчин; 3 - ємність

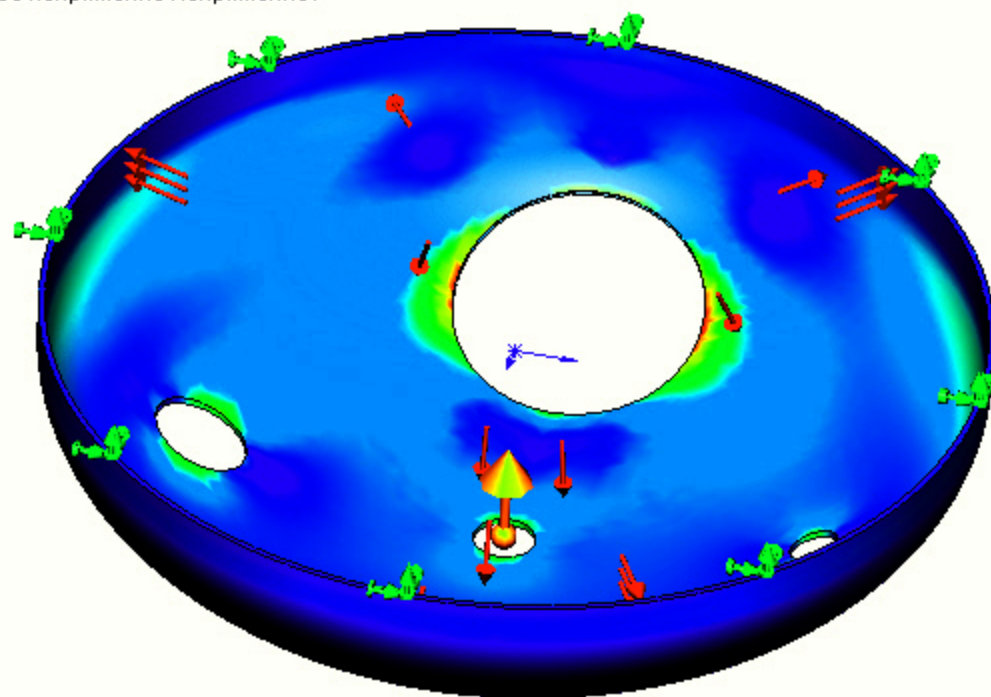


Укріпні позначення		Найменування середовища в трубопроводі
Літерне	Графічне	
T11		Вода технічна холодна
T12		Вода технічна гаряча
T2		Пара
T30		Каналізація

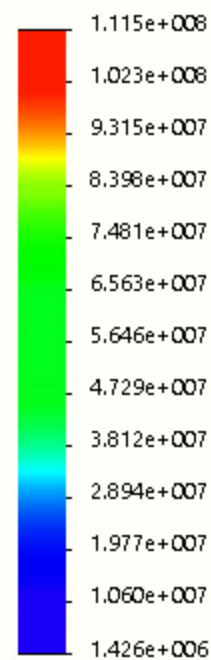
Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
P1	Реактор-нейтралізатор	1	
302	Збірник вапняного молочка	1	
Д3	Дозатор об'ємно-ваговий	1	
H4	Насос для перекачування цитратної суспензії	1	
K5	Конденсатодвідвідник	1	
Ф6	Фільтрес: ФІТАК-М для виділення цитрату	1	
H7	Насос для повернення відстояного цитрату в нейтралізатор	1	
308	Збірник фільтрату	1	
H9	Насос для перекачування фільтрату на концентрування	1	
3010	Збірник фільтрату	1	
P11	Реактор для обробки кальцієвої солі сірчаною кислотою	1	
3012	Збірник сірчаної кислоти	1	
3013	Збірник гексаціанофосфату кальцію	1	
Д14	Дозатор об'ємно-ваговий	1	
Ф15	Фільтр стрічковий для виділення гіпсового шлам	1	
3016	Вакуум-збірник розчину лимонної кислоти	1	
H17	Насос для перекачування розчину лимонної кислоти	1	
3018	Збірник розчину після першого випаровування	1	
B19	Апарат випарний вакуумний з виносною гріною камерою	1	
P20	Реактор для остилення лимонної кислоти вугіллям активованим	1	
K21	Конденсатор барометричний	1	
K22	Конденсатодвідвідник	1	
Ф23	Фільтр дисковий для виділення гіпсу	1	
3024	Збірник фільтрату	1	
H25	Насос нерегульований	2	
3026	Збірник розчину	1	
B27	Апарат випарний вакуумний з виносною гріною камерою	1	
3028	Збірник упареного розчину лимонної кислоти	1	
K29	Конденсатодвідвідник	1	
Kp30	Кристалізатор	1	
Ц31	Центрифуга	1	
E32	Елеватор шнековий	1	
3033	Збірник першого маточного розчину	1	
C34	Сушилка барабанна	1	
E35	Елеватор шнековий	1	
Ст36	Сито вібраційне з подіємним охолодженням кристалів лимонної кислоти	1	
3037	Збірник готового продукту	1	
УП38	Ультразвуковий процесор	1	

					БІ71мн1161032.001.00-60АС		
					Апаратурно-технологічна схема лінії виробництва лимонної кислоти		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	Маса	Маштаб
Розробив		Скорюк ЄГ					
Перевірив		Мельник ВМ					
Т. контр.		Мельник ВМ			Арх.	Архив	1
Н. контр.		Мельник ВМ			НТУУ "КПІ", Ім. Ігоря Сікорського ФБП, БІ-71мн		
Затвердив		Мельник ВМ					

Имя модели: k_riss
Название исследования: Статический анализ 1 (-По умолчанию-)
Тип эпюры: Статический анализ узловое напряжение Напряжение1



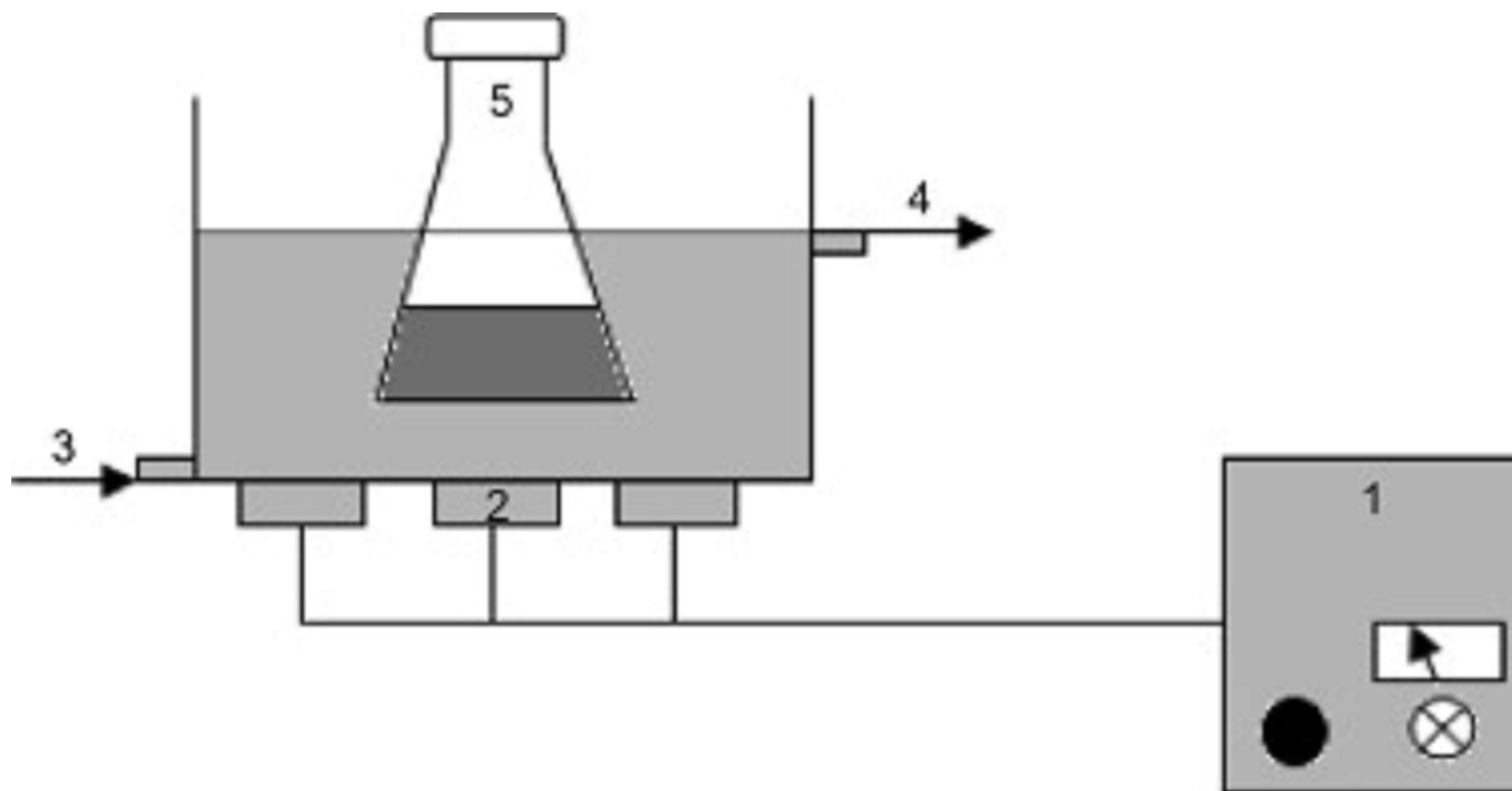
von Mises (N/m²)



→ Предел текучести: 1.723e+008

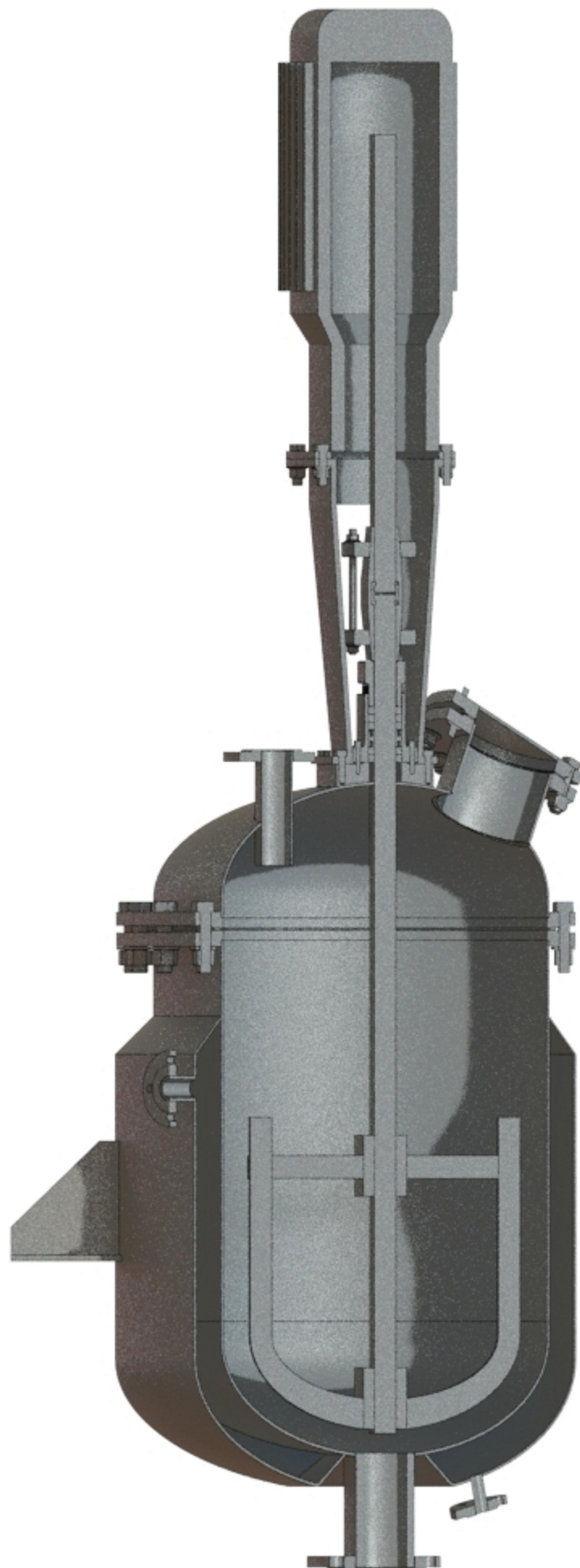
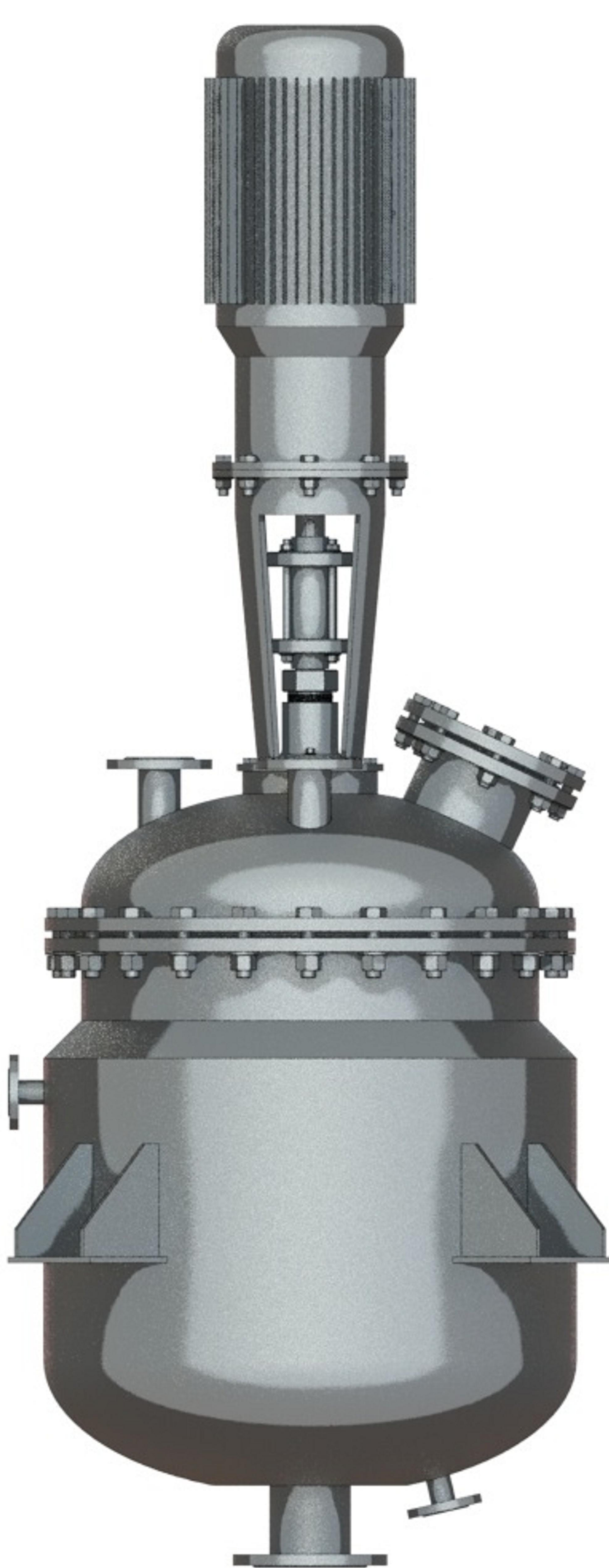


Схема проведення дослідження впливу ультразвуку на процеси кристалізації

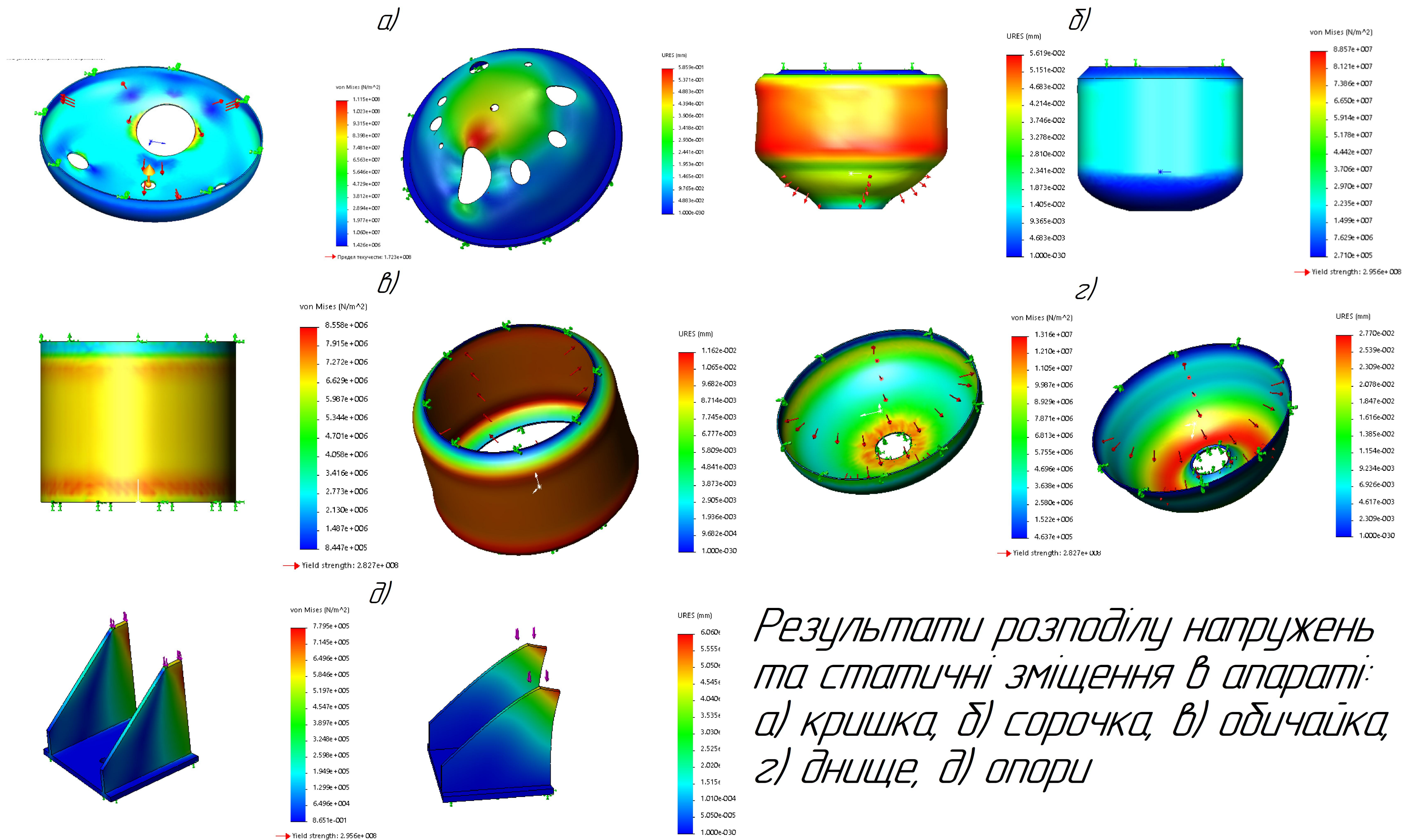


Принципова схема експериментальної установки. (1– ультразвуковий генератор, 2 термостат, 3 подача холодної води, 4 відвід води, 5 зразок, перенасичений розчин лимонної кислоти.

3D модель кристалізатора



*Плакат № 2 до захисту магістерської атестаційної роботи
на тему: Переробка рослинної сировини в ЧЗ установці
Студента групи БІ-71мп Сорокіна Е.Г.
Керівник: д.т.н., проф. Мельник В.М.*



*Результати розподілу напружень та статичні зміщення в апараті:
а) кришка, б) сорочка, в) обичайка,
г) днище, д) опори*

*Плакат № 3 до захисту магістерської атестаційної роботи на тему: Переробка рослинної сировини в ЧЗ установці
Студента групи БІ-71мп Сорокіна Е.Г.
Керівник: д.т.н., проф. Мельник В.М.*